



Universidad de Concepción



FACULTAD DE CIENCIAS
AMBIENTALES

VULNERABILIDAD HÍDRICA EN LA COMUNA QUEMCHI, ARCHIPIÉLAGO DE CHILOÉ

Habilitación presentada para optar al título de

Ingeniero ambiental

GUSTAVO ADOLFO LLANQUEPI CELEDON

Profesor Guía: Dr. Mauricio Aguayo Arias

Profesor Co-Guía: Jorge Féléz Bernal

Profesora comisión: Dra. Patricia González Sánchez

Concepción, Chile.

2021

“Vulnerabilidad hídrica en la comuna de Quemchi, archipiélago de Chiloé”

PROFESOR GUÍA: Dr. MAURICIO AGUAYO ARIAS

PROFESOR CO- GUÍA: Mg. JORGE FÉLEZ BERNAL

PROFESOR COMISIÓN: Dra. PATRICIA GONZÁLEZ SÁNCHEZ



CONCEPTO: APROBADO CON DISTINCIÓN MÁXIMA

Conceptos que se indica en el Título

- ✓ Aprobado por Unanimidad : (En Escala de 4,0 a 4,9)
- ✓ Aprobado con Distinción (En Escala de 5,0 a 5,6)
- ✓ Aprobado con Distinción Máxima (En Escala de 5,7 a 7,0)

DEDICATORIA



A mis padres, este es nuestro legado...

AGRADECIMIENTOS

El siguiente trabajo de investigación es la culminación de mi vida universitaria y la academia solo es una de las muchas aristas que me formaron durante los últimos 5 años. Quiero agradecer a María por enseñarme la importancia de la verdad tanto conmigo mismo y con quienes me rodean y también a Luis por la persistencia ya que todo lo desconocido es difícil pero no imposible y, a ambos por su amor incondicional como padres que precede a la universidad y ha estado conmigo siempre. A mis amigos, por hacer de esta la mejor etapa de mi vida: Maxi, Gonza, Miguel, Ronald, Matías, Jairo, Diego, Vania, Rocío, Cristóbal, Marcelo, Bari, Carlitos, Pamela; las anécdotas compartidas le dan el color y el matiz necesario al cuadro del aprendizaje, el crecimiento personal es tan importante como el intelectual y tuve la fortuna de tenerlos en ambos frentes. A mis guías por su apoyo en medio de una pandemia que no mermó sus contribuciones. A toda la gente de Quemchi que me hizo sentir en mi hogar, la tía Marion y a Sebastián por el calor de familia; a Víctor y a Walter por su confianza y su guía. A Camila, mi *partner* en esta empresa que con su incondicional apoyo me ayudo a llevar el timón del barco en la investigación. Gracias a ti viejo, que en medio de la lluvia y la ventisca te acercaste a nosotros y con tu antología nos remarcaste la importancia de ser felices con lo que hacemos.

RESUMEN

El presente estudio describe la condición de vulnerabilidad hídrica en la comuna de Quemchi, los factores que ejercen presión sobre la condición del recurso son agentes estresores hídricos como el comportamiento pluviométrico los últimos veinte años y la capacidad de manejo del recurso por parte de la comunidad.

Para analizar el comportamiento de las precipitaciones, se realiza una prueba estadística (Test de Mann Kendall) la cual determina la tendencia y significancia de las lluvias en el área de estudio. Los resultados arrojaron un comportamiento decreciente y significativo estacional para la temporada de verano ($p \text{ value} \sim \alpha$, $Z_{MK} = -1,72$)

La capacidad de gestión de la comunidad en las zonas rurales se midió a través de una encuesta la cual arrojó resultados sobre continuidad del recurso, calidad de agua para uso potable y duración del estiaje. Los sectores más vulnerables en la zona norte son Tubildad y Montaña, para la zona sur Montemar, Montemar Alto, Chaurahue, Chaurahue Sur y Choen y para la zona insular la isla Caucahue.

Para esquematizar y diagnosticar desde el origen la condición de vulnerabilidad en los sectores objetivo se realizó una matriz de ordenamiento DPSIR la cual, a través de conformación de un panel de expertos, fue resuelta en todos los niveles propuestos. Se identificó el problema, se focalizaron las fuerzas de acción, se enumeraron las presiones, se describió el estado del recurso, se predijeron potenciales impactos y se elaboró un conjunto de políticas hídricas.

Las propuestas de gestión para el manejo de agua potable en Quemchi se elaboran a partir de una configuración territorial que tiene a la cuenca hidrográfica como unidad de análisis y manejo del recurso, tanto la conservación de ecosistemas de relevancia hídrica y ambiental.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
ÍNDICE DE FIGURAS	ixx
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1. Cambio global y vulnerabilidad hídrica.....	2
2.2. Relación entre el recurso hídrico y sistemas de vida socio-culturales.....	3
2.3. Contexto hídrico en Chile	4
2.4. Sistemas de gestión de agua para uso potable	6
2.5. Ecosistemas de relevancia hídrica y ambiental en Archipiélago de Chiloé	8
2.6. Gobernanza de agua en el archipiélago de Chiloé	10
3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	11
4. OBJETIVOS	11
4.1. Objetivo general.....	11
4.2. Objetivos específicos	11
5. METODOLOGÍA.....	12
5.1. Descripción del área de estudio	12
5.2. Enfoque metodológico.....	14
5.3. Análisis de tendencia en las precipitaciones para el período de estudio .	14
5.4. Encuesta de sostenibilidad y sistema de gestión hídrica en zonas rurales y urbana.....	15
5.5. Fotointerpretación de sistemas APR en la comuna de Quemchi	17

5.6.	Conectividad hídrica en las zonas rurales de la comuna de Quemchi	18
5.7.	Análisis de vulnerabilidad hídrica	19
5.8.	Focalización de sectores vulnerables en la comuna de Quemchi.....	21
5.9.	Propuestas de Gestión Integrada de Recursos Hídricos.....	21
5.9.1	Análisis de ordenamiento territorial y humedales.....	21
5.9.2	Análisis de cuerpos de agua con enfoque en Gestión Integrada de Cuencas.....	21
6.	RESULTADOS	22
6.1.	Análisis estadístico de precipitaciones en un período de estudio de 20 años	22
6.1.1.	Tendencia de precipitaciones anuales acumuladas.....	22
6.1.2.	Tendencia de precipitaciones estacionales para la temporada de otoño	23
6.1.3.	Tendencia de precipitaciones estacionales para la temporada de invierno	24
6.1.4.	Tendencia de precipitaciones estacionales para la temporada de primavera.....	25
6.2.5	Tendencia de precipitaciones estacionales para la temporada de verano	26
6.2.	Catastro de gestión de agua para uso potable en zonas rurales y en la zona urbana de la comuna de Quemchi	27
6.2.1.	Zona norte.....	28
6.2.2.	Zona sur.....	33
6.2.3.	Zona insular	38
6.1.4	Zona Urbana.....	43
6.3.	Sistemas de gestión y conectividad hídrica en la comuna de Quemchi ...	44
6.3.1.	Infraestructura de gestión en la comuna de Quemchi.....	44

6.3.2. Conectividad hídrica en la comuna de Quemchi.....	49
6.4 Matriz de ordenamiento DPSIR y trabajo de comisión de expertos	49
6.5 Propuestas de gestión hídrica para la comuna de Quemchi.....	53
6.5.1 Ordenamiento territorial y asignación de vulnerabilidad en sectores rurales.....	53
6.5.2 Humedales reconocidos por la comunidad en Quemchi.....	55
6.5.3 Catastro de turberas con enfoque en Gestión Integrada de Recursos Hídricos.....	58
6.5.4 Catastro de cuerpos de agua dulce con enfoque en Gestión Integrada de Recursos Hídricos	61
6.5.5 Recomendaciones de gestión de acuerdo a la realidad hídrica en Quemchi	65
7. DISCUSIÓN	68
8. CONCLUSIÓN	71
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
10. ANEXOS	78



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Cartografía descriptiva de la comuna de Quemchi.....	13
Figura 2.	Ecuación de interés para valor <i>ZMK</i> en análisis de tendencia	15
Figura 3.	Ecuación de interés para conectividad hídrica en zonas rurales de Quemchi.	18
Figura 4.	Matriz de ordenamiento DPSIR.....	21
Figura 5.	Test de MannKendall para precipitaciones anuales acumuladas 2000-2019.	23
Figura 6.	Test de MannKendall para precipitaciones estacionales de otoño 2000-2019.	24
Figura 7.	Test de MannKendall para precipitaciones estacionales de invierno 2000-2019.	25
Figura 8.	Test de MannKendall para precipitaciones estacionales de primavera 2000-2019.	26
Figura 9.	Test de MannKendall para precipitaciones estacionales de verano 2000-2019.	27
Figura 10.	Caracterización de las fuentes de aprovisionamiento de agua para uso potable en la zona norte de Quemchi.....	29
Figura 11.	Presencia de un sistema de tratamiento para la óptima calidad de agua de uso potable en la zona norte de Quemchi.....	30
Figura 12.	Clasificación de tratamientos de calidad de agua para uso potable en la zona norte de Quemchi.	30
Figura 13.	Presencia de agentes físicos, químicos y/o biológicos que alteran la calidad de agua para uso potable en la zona norte de Quemchi.	31
Figura 14.	Continuidad en los caudales de aprovisionamiento de agua para uso potable en la zona norte de Quemchi.....	32

Figura 15.	Efectos de temporada de estiaje en la baja de los niveles de aprovisionamiento de agua para uso potable en la zona norte de Quemchi.....	32
Figura 16.	Período de baja de los niveles de aprovisionamiento de agua para uso potable en la zona norte de Quemchi.....	33
Figura 17.	Caracterización de las fuentes de aprovisionamiento de agua para uso potable en la zona sur de Quemchi.....	34
Figura 18.	Presencia de un sistema de tratamiento para la óptima calidad de agua de uso potable en la zona sur de Quemchi.....	35
Figura 19.	Clasificación de tratamientos de calidad de agua para uso potable en la zona sur de Quemchi.....	35
Figura 20.	Presencia de agentes físicos, químicos y/o biológicos que alteran la calidad de agua para uso potable en la zona sur de Quemchi.....	36
Figura 21.	Continuidad en los caudales de aprovisionamiento de agua para uso potable en la zona sur de Quemchi.....	37
Figura 22.	Efectos de temporada de estiaje en la baja de los niveles de aprovisionamiento de agua para uso potable en la zona sur de Quemchi.....	37
Figura 23.	Período de baja de los niveles de aprovisionamiento de agua para uso potable en la zona sur de Quemchi.....	38
Figura 24.	Caracterización de las fuentes de aprovisionamiento de agua para uso potable en la zona insular de Quemchi.....	39
Figura 25.	Presencia de un sistema de tratamiento para la óptima calidad de agua de uso potable en la zona insular de Quemchi.....	40
Figura 26.	Clasificación de tratamientos de calidad de agua para uso potable en la zona insular de Quemchi.....	40
Figura 27.	Presencia de agentes físicos, químicos y/o biológicos que alteran la calidad de agua para uso potable en la zona insular de Quemchi.....	41
Figura 28.	Continuidad en los caudales de aprovisionamiento de agua para uso potable en la zona insular de Quemchi.....	42

Figura 29.	Efectos de temporada de estiaje en la baja de los niveles de aprovisionamiento de agua para uso potable en la zona insular de Quemchi.	43
Figura 30.	Período de baja de los niveles de aprovisionamiento de agua para uso potable en la zona insular de Quemchi.....	43
Figura 31.	Imagen satelital. Sistema de Agua Potable Rural y red de distribución para los sectores de Lliuco y Aucho - Frontera. Fuente: Dirección de Obras Hidráulicas.	45
Figura 32.	Imagen satelital. Sistema de Agua Potable Rural y red de distribución para el sector de Quicaví. Fuente: Dirección de Obras Hidráulicas.	45
Figura 33.	Imagen satelital. Sistema de Agua Potable Rural y red de distribución para la isla Añihue. Fuente: Dirección de Obras Hidráulicas.	46
Figura 34.	Imagen satelital. Sistema de Agua Potable Rural y red de distribución en la isla Añihue. Fuente: Dirección de Obras Hidráulicas.....	47
Figura 35.	Imagen satelital. Brecha hídrica en el sistema de gestión entre Villa Mechuque con los sectores aledaños; Nueva Villa (Rojo), Papalguen (Verde), La Vega (Anaranjado). Fuente: Elaboración propia	48
Figura 36.	Obras y equipo de desarrollo para la ejecución del pozo profundo en la Isla Caucahué.....	48
Figura 37.	Índices de conectividad hídrica asociados a un sistema de gestión registrado en las zonas rurales de Quemchi.	49
Figura 38.	Viviendas rurales denotadas con la condición de vulnerabilidad hídrica en la comuna de Quemchi.....	55
Figura 39.	Humedales de relevancia social y cultural en la comuna de Quemchi.	58
Figura 40.	Turberas de interés de protección y gestión integrada en Quemchi.	61
Figura 41.	Cuerpos de agua loticos en la comuna de Quemchi.	63
Figura 42.	Cuerpos de agua lenticos en la comuna de Quemchi.	65

Figura 43. Cartografía integrativa de factores de gestión en la comuna de Quemchi. 70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Fuerzas de acción en matriz de ordenamiento DPSIR.	50
Tabla 2.	Presiones o acciones en matriz de ordenamiento DPSIR.....	51
Tabla 3.	Estado del recurso en matriz de ordenamiento DPSIR.....	51
Tabla 4.	Impactos en matriz de ordenamiento DPSIR.	52
Tabla 5.	Políticas hídricas en matriz de ordenamiento DPSIR.	52
Tabla 6.	Criterios de vulnerabilidad hídrica.	53
Tabla 7.	Sectores vulnerables en las zonas rurales en Quemchi.	54
Tabla 8.	Propuestas de gestión de acuerdo a localidades identificadas con vulnerabilidad.	54
Tabla 9.	Subsubcuencas hidrográficas y humedales objetivo.	56
Tabla 10.	Propuestas de gestión de humedales con la población en Quemchi.	56
Tabla 11.	Propuestas de gestión con un enfoque institucional y técnico.....	57
Tabla 12.	Superficies registradas para turberas en unidades de gestión de cuencas hidrográficas.	59
Tabla 13.	Propuestas de gestión para el manejo de turberas en Quemchi.	59
Tabla 14.	Propuestas de gestión para los ríos en la comuna de Quemchi.....	62
Tabla 15.	Propuestas de gestión para lagos y lagunas en la comuna de Quemchi.	63
Tabla 16.	Superficies de interés para cuerpos lacustres en subsubcuencas de interés.	64
Tabla 17.	Acciones correctivas clasificadas en un tiempo de ejecución.....	67

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los recursos hídricos no están distribuidos en el país en forma homogénea y la disponibilidad anual de agua en promedio varía entre 52 m³ por persona en Antofagasta (región septentrional) y casi 3.000.000 m³ en Aysén (la región meridional caracterizada por su escasa población) (Banco Mundial, 2011), situación que plantea diferentes obstáculos a la hora de gestionar estos recursos en distintas zonas del país. En promedio, Chile dispone de unos 56.000 m³ de agua dulce renovable per cápita, la quinta mayor cifra de la OCDE (OCDE, 2016), sin embargo, en comunidades de la zona central del país como Petorca la accesibilidad al recurso en zonas rurales en donde solo dos de los veinte sistemas de Agua Potable Rural ubicados en la cuenca de Petorca tiene acceso continuo a fuentes naturales de aprovisionamiento potable; en la actualidad la Municipalidad de Petorca tiene un registro de aprovisionamiento hídrico por camiones aljibe a 2000 habitantes correspondientes al 20% de su población, cifra que se incrementa en verano por la frecuencia de consumo en la localidad y para la agricultura (Muñoz et al., 2020). La distribución del recurso hídrico mediante los derechos de aprovechamiento de agua en la comuna de Quemchi enmarcan el 7% de estos derechos destinados a consumo humano para organizaciones como juntas de vecinos, comités indígenas y Sistemas de Agua Potable Rural, en contraste con el 58% destinados a actividades productivas como el cultivo de mitílicos y salmoneras (Frêne et al., 2014).

Se carece de datos oficiales acerca del acceso a fuentes de suministro de agua y de tratamiento de aguas servidas en las zonas rurales —donde vive alrededor del 15% de la población—. Los sistemas de tratamiento de aguas servidas rurales dependen de subsidios públicos y se han ido deteriorando con el transcurso del tiempo (Donoso, 2015). El programa Agua Potable Rural tiene como objeto lograr para 2035 el acceso universal a fuentes de agua potable en localidades rurales “semi concentradas” y “dispersas” que registran niveles de acceso muy bajos (MOP, 2012).

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Cambio global y vulnerabilidad hídrica

El agua dulce accesible y de alta calidad es un recurso limitado y de gran variabilidad. Las proyecciones de la OCDE indican que el 40% de la población mundial vive en cuencas hidrográficas bajo estrés hídrico y que la demanda del agua se incrementará en un 55% para el año 2050 (OCDE, 2012). El agua cubre el 70% de la superficie del planeta – pero sólo el 2,5% corresponde a agua fresca (ríos, lagos, acuíferos) – y únicamente el 0,62% es apta para el consumo humano, agrícola e industrial. En breve, el agua dulce es un bien muy escaso (Fundación Chile, 2018). El Cambio Climático registrado en las últimas décadas tiene su origen en factores naturales y antrópicos, siendo este último el catalogado por la comunidad científica como el responsable de esta variabilidad climática con el aumento de gases de efecto invernadero (Fuster et al., 2017).

De acuerdo con la FAO (2007) se espera que la presión sobre los recursos hídricos en el mundo se incremente significativamente en el futuro. Muchos están de acuerdo en que para el año 2025, 1.800 millones de personas vivirán en regiones con escasez absoluta de agua y dos tercios de la población mundial podrían experimentar condiciones de estrés hídrico. El agua disponible depende de patrones climáticos regionales de precipitación, del balance de los componentes del ciclo hidrológico, así como de las características de la vegetación, suelo y subsuelo (Balvanera & Cloter, 2009).

La sequía es un desastre natural crónico que ocurre con frecuencia alrededor del mundo y su gestión no es tan rápida y su mitigación no es tan predecible en cuanto a otros desastres naturales, tales como inundaciones repentinas, tormentas de viento, ciclones, e incluso terremotos. Los impactos de la sequía en la vida social y el desarrollo económico son mayor, más extenso, más duradero y más profundo que la mayoría de los otros desastres naturales (Liu & Chen, 2021).

En términos de vulnerabilidad hídrica Huang & Cai (2009) desarrolla este concepto como las debilidades y fallas del sistema de gestión de recursos hídricos que impiden el correcto funcionamiento de dicho sistema. Para caracterizar, darle magnitud y jerarquía a esta vulnerabilidad se define vulnerabilidad hídrica en una zona de interés acorde a los siguientes criterios:

- A) Exposición de los sistemas de agua dulce a estresores hídricos, a escala de cuenca hidrográfica.
- B) Capacidad de adaptación ecosistémica y social, a las amenazas que enfrenta el bienestar y funcionalidad de los recursos hídricos.

2.2. Relación entre el recurso hídrico y sistemas de vida socio-culturales

Los sistemas de vida socio-culturales juegan un rol clave al momento de incorporar herramientas de gestión destinadas al recurso hídrico Castro (1992) propone lo siguiente: el plano social de la cultura muestra las relaciones que se dan entre distintas unidades socialmente definidas y las formas de control sobre los factores de la producción. En el caso campesino, está referida particularmente a la tierra y el agua. La disponibilidad de recursos necesarios para la supervivencia de los grupos humanos, generalmente presenta la característica de ser relativamente escasos, lo que redundo en una competencia por su control. El grupo humano formulará un conjunto de estrategias y actividades dirigidas a resolver los conflictos asociados a las fuentes básicas (tierra, pastos, agua, etc.), que se denominan funciones políticas. Se orienta a determinar la naturaleza de las funciones políticas al interior de las sociedades campesinas y las estructuras encargadas de ejecutar tales funciones. Se desglosa el valor cultural del recurso hídrico desde dos perspectivas; la primera desde un punto de vista *afectivo*, dando un valor intrínseco al recurso, es decir, el agua adquiere una dimensión abstracta, en la cual la cultura le reconoce propiedades que trascienden una practicidad inmediata. En este plano encontramos un conjunto de creencias y ceremonias asociadas con el agua, en

tanto pertenece al mundo de las fuerzas sobrenaturales. O un valor como recurso, en otras palabras, un conjunto de ideas referidas a las potencialidades y limitaciones del agua como un medio para lograr ciertos objetivos en el contexto de las actividades diarias de los individuos. El segundo punto de vista es el *cognitivo*, esta percepción informa al sujeto o comunidad sobre el actuar de su entorno, todo esto en la base de actitudes y posiciones del grupo humano. Se estipula que sólo se podrá entender la definición y gestión del recurso hídrico desde la perspectiva que asuman los individuos respecto a ella, considerando su situación social y de las relaciones que establecen dentro de un sistema.

Consolidando el aspecto cultural junto con un uso sostenible del recurso, la gestión de los hídricos debiese apuntar a asegurar el suministro de agua para el consumo humano y complementar las actividades antrópicas que sean compatibles con las funciones del ecosistema y su integridad (Jaramillo, 2014).

2.3. Contexto hídrico en Chile



Chile tiene una marcada heterogeneidad hídrica. Mientras en la zona norte del país se presenta una menor oferta de aguas para el abastecimiento de las principales actividades que allí se desarrollan, la zona sur dispone de una mayor oferta del recurso hídrico (Fundación Chile, 2018). Para un enfoque integrativo Stehr et al., (2019) exponen la relevancia de los objetivos de desarrollo sostenible para erradicar la sequía en Chile.

Balvanera & Cloter (2009) describen la disponibilidad de agua como el volumen de agua superficial y subterránea potencialmente aprovechable en un territorio, caracterizar los caudales de cursos de aguas superficiales y el nivel de las napas freáticas es indispensable al momento de establecer los criterios de demanda hídrica en un territorio. Fundación Chile (2018) define la demanda hídrica como la demanda del conjunto de actividades socioeconómica, estimada a través de tres conceptos: derechos de aprovechamiento de aguas [DAA], captación de aguas y

consumo de aguas, cada uno con su metodología de análisis particular. Siete sectores productivos del país fueron incluidos en el análisis de Fundación Chile: agrícola, minero, agua y saneamiento doméstico, industrial, forestal, energía y pecuario.

Chile posee 101 cuencas hidrográficas que incluyen 1.251 ríos y 12.784 cuerpos de agua correspondientes a lagos y lagunas. A ellas se suman 24.114 glaciares, los que aportan caudal de escorrentía en el estiaje. Se han delimitado 137 acuíferos y 375 sectores hidrológicos de aprovechamiento (SHAC) a lo largo del territorio nacional, de los cuales un 47% se encuentra bajo restricción o prohibición (DGA, 2016). En términos generales existe un bajo conocimiento del grado de interconexión de los acuíferos, su extensión vertical y horizontal y su nivel de recarga. De las 101 cuencas hidrográficas en Chile, solo dos presentan Normas Secundarias de Calidad Ambiental (Stehr et al., 2019).

Cabe destacar la importancia de los derechos de otorgamiento de aguas, transacción que está sujeta al libre mercado y no tiene una regulación de uso, así como lo estipula Echeverría (2018), el titular de un derecho de aprovechamiento tiene la absoluta libertad para determinar el uso que le dará a las aguas que son objeto de su derecho.

Tal como indica el artículo 149 del Código de Aguas, que dice relación con la solicitud para adquirir un derecho de aprovechamiento, *“El derecho de aprovechamiento no quedará en modo alguno condicionado a un determinado uso y su titular o los sucesores en el dominio a cualquier título podrán destinarlo a los fines que estime pertinentes.”*

En el mismo sentido tampoco existe obligatoriedad de uso efectivo de las aguas, es decir, el titular de un derecho de aprovechamiento puede libremente decidir no utilizar las aguas a las que tiene derecho. Esto sin perjuicio del pago de patente por no uso de aguas, pero que en definitiva no lo obliga a usar efectivamente las aguas, sino a pagar una especie de multa por no hacerlo. Manteniendo la misma línea, tampoco es necesario que en las transferencias de derechos de aprovechamiento se respete el uso a que antiguamente se destinaba el agua (Echeverría, 2018).

Al transarse las aguas como un bien económico, bajo las reglas del libre mercado se genera una libre competencia de usos del agua, lo que a su vez trae como consecuencia el acaparamiento por algunos sectores de títulos de aguas (minero, eléctrico) y la especulación en algunas zonas hídrica (Echeverría, 2018).

De acuerdo a la base de datos de la DGA (2019), dentro de los registros de derechos de aguas de carácter consuntivo en la comuna de Quemchi se destacan los adquiridos por Agrícola y Forestal Finis Terrae Sociedad Limitada [$50 \frac{1}{5}$] y AQUACHILE Sociedad Anónima [$1300 \frac{1}{5}$], ambos de carácter permanente, con un caudal constante a lo largo de todo el año mientras que los derechos de entidades como la Municipalidad y juntas de vecinos no superan los [$10 \frac{1}{5}$].

Para elaborar medidas de gestión que garanticen la seguridad del recurso hídrico, existen cuatro enfoques de trabajo para la conservación sostenible de agua. Las medidas tipo A, trabajan la conservación de ecosistemas terrestres como el bosque nativo, acciones correctivas tipo B modifican ecosistemas de agua continentales mediante infraestructura como los humedales artificiales, los trabajos tipo C se enfocan en la productividad y eficiencia del recurso hídrico por parte de la población; la educación ambiental es la principal gestión en estas medidas, finalmente las medidas tipo D actúan de forma indirecta sobre los ecosistemas acuáticos para medir su comportamiento, como lo son las estaciones hidrométricas (Ocampo et al., 2016; Stehr et al., 2019).

2.4. Sistemas de gestión de agua para uso potable

El acceso al agua y saneamiento está definido como derecho humano básico, sin embargo, en Chile el modelo de gestión hídrica separa la propiedad de la tierra de la propiedad del agua, se basa en criterios de asignación de derechos de uso gratuitos y perpetuos que depende de transacciones de mercado, lo que ha favorecido la concentración de derechos de uso en el sector eléctrico, minero y agrícola exportador. Esto vulnera el derecho de acceso al agua para toda la

población, en particular de los habitantes rurales; las comunidades locales se enfrentan a una creciente y sistemática pérdida de derechos sociales y consuetudinarios y al despojo de un derecho humano básico que el Estado debe garantizar a campesinos, agricultores y pueblos originarios, como también a todos los ciudadanos. A esto se suma la pérdida de control público y gobernabilidad, que se manifiesta a través de todo Chile en innumerables conflictos territoriales y, en la inexistencia de una mirada de largo plazo respecto a estrategias de desarrollo rural sostenible (Frêne et al., 2014). La prestación de servicios de agua potable y saneamiento es un gran desafío en los países en desarrollo (Chan, 2020).

La gobernanza adaptativa ha surgido como una herramienta que responde de mejor manera a la incierta, compleja, sistemática y a menudo cuestionado problema del cambio climático (Hurlbert & Gupta, 2019; Pahl-Wostl et al., 2013). En su estudio OCDE (2015) proponen ciclos continuos de trabajo mediante la implementación, monitoreo y evaluación de políticas hídricas con el fin de aumentar la efectividad de las mismas en el tiempo, obedeciendo a la constante configuración del medio y las demandas sociales.

El origen de las fuentes de aprovisionamiento puede ser muy diverso de acuerdo a las condiciones características de la zona de estudio; existen amplias variedades de fuentes de agua que son utilizadas por las comunidades rurales de llanuras aluviales, incluyendo el agua de lluvia recogida por los hogares individuales, comúnmente capturada usando el techo del hogar y almacenada en pequeño volumen en recipientes como macetas y sartenes (Ocampo et al., 2016; Stehr et al., 2019).

Los sistemas de gestión nacen de la planificación estatal sobre el recurso objetivo, para hablar de políticas públicas y herramientas de gestión, en primer lugar es útil definir lo que se entiende por las mismas (Reyes-Mendy, 2014). En términos generales, las políticas públicas se determinan por lo que el gobierno hace o no hace.

En localidades aisladas tanto en términos geográficos y sociales, la sostenibilidad del recurso hídrico presenta una fuerte influencia del manejo de la comunidad, el correcto funcionamiento de trabajo hídrico para uso potable obedece a un lineamiento de gestión, la sostenibilidad de los sistemas hídricos gestionados por la comunidad depende tanto de las características técnicas del sistema como de las características de gestión del comité de agua (Kelly, 2018; Klug et al., 2017).

2.5. Ecosistemas de relevancia hídrica y ambiental en Archipiélago de Chiloé

La retroalimentación del complejo suelo-vegetación con el ambiente es fundamental al momento de caracterizar el recurso hídrico disponible, según el reporte hecho por la entidad ONU (2019), el tipo de suelo y la geología (y geomorfología) de la cuenca, pueden afectar fuertemente el consumo del agua de las especies forestales, pues dichas variables influyen en la cantidad de agua disponible en el suelo para mantener los procesos de transpiración antes mencionados; pero sobre todo determinan cuánta agua se destinará a la recarga de las napas.

La capacidad de retención y almacenamiento depende de la topografía y del subsuelo características del ecosistema involucrado (Balvanera & Cloter, 2009). Los efectos hidrológicos generados por cambios en el uso del suelo están fuertemente relacionados con la cuantía, distribución y posibilidades de aprovechamiento de los recursos hídricos (Mark & Dickinson, 2008).

El 68,8% de la provincia se encuentra cubierta por bosques, un 25,5% de la superficie corresponde a praderas y matorrales, mientras el 1,8% corresponde a turberas. En relación a las tendencias de cambio de uso del suelo, entre 1998 y el 2013 se perdieron 10.268 hectáreas de bosque nativo, mientras que las plantaciones forestales aumentaron de 623 a 5.443 hectáreas, lo que equivale a un incremento de 873% (CONAF & UACH, 2013).

En materia del suelo del área de trabajo y sus características Beas (2018) expone que los suelos Ñadi (Aquands) se caracterizan por una dinámica estacional del

contenido de agua en el perfil del suelo, influenciada por su baja profundidad. El cambio de uso y el manejo de estos suelos pueden alterar su estructura física y la actividad biológica, relacionados con la dinámica de nutrientes y la producción de gases de efecto invernadero.

El drenaje a estos suelos ha sido una alternativa de trabajo para promover el uso productivo de estos espacios, la implementación de sistema de drenajes para mejorar el flujo de agua a sistemas de agricultura y plantaciones forestales es común en la zona centro sur del país; sentado en estas bases, el Estado de Chile, a través de la Ley 18.450, fomenta la inversión en drenajes artificiales (Beas, 2018).

Con respecto a la relación del drenaje de suelos con la disponibilidad de agua, Hartge & Horn (1999) indican que no se han considerado los posibles impactos negativos del drenaje al suelo y al ecosistema en general, dada la alteración de propiedades del suelo, como, por ejemplo, la densidad aparente y la consecuente redistribución de la tensión de agua en perfil del suelo. La subsidencia de un suelo altera su capacidad de almacenamiento y distribución de agua y aire, donde tanto el volumen como la conductividad porosa, son afectados por la contracción y formación de grietas. Las magnitudes de estos cambios podrían incrementar si el contenido de materia orgánica disminuye, como resultado del incremento de la aeración del suelo, ya que estos compuestos orgánicos tienen un rol muy importante en la formación estructural del suelo, su estabilidad y resistencia.

El tipo de cobertura tiene un efecto en el régimen de evapotranspiración y en la generación e inicio de la escorrentía superficial (Fohrer, 2001). Es por esto que un cambio en el uso del territorio afecta de sobremanera al ciclo hidrológico en la zona de interés, así lo corrobora Sahin & Hall (1996) indicando que un cambio en la cobertura vegetal, generado por diversas prácticas de uso del suelo, puede alterar significativamente el balance de agua superficial y la partición de las precipitaciones dentro de los procesos de evaporación, escorrentía y flujo de agua subterránea.

2.6. Gobernanza de agua en el archipiélago de Chiloé

Para la Región de Los Lagos existe una disponibilidad de agua equivalente a $136 \frac{\text{km}^3}{\text{persona/año}}$ y la relación disponibilidad/demanda de agua se presenta favorable. Sin embargo, similar a otras regiones, estos valores son promedios regionales y no dan cuenta de la realidad a escalas local, sobre todo en las zonas rurales (Frêne, C et al., 2014).

El clima en la Isla de Chiloé cuenta con sus propias características y comportamiento anual, según Montiel (1992) el clima de la Provincia de Chiloé corresponde al Templado Marítimo lluvioso. En forma general se caracteriza por precipitaciones de un promedio de 3.000 mm anuales hacia el Oeste y 1.200 mm/año hacia el Este. La humedad atmosférica media anual oscila entre 80 y 85%, registrándose heladas poco frecuentes en la costa y sin presencia de nieve. La temperatura media anual es de 10,7°C, con máximas en los meses de verano (enero y febrero) de 30°C y, las mínimas entre otoño e invierno (junio a agosto) con valores de 5°C.

En el Archipiélago de Chiloé no existen suministros de agua dulce provenientes de los deshielos de las montañas como en el continente, sino que sus napas subterráneas se alimentan del agua lluvia acumulada en un tipo de humedal llamado turberas para lo cual es fundamental el musgo *Sphagnum magallanicum*, también conocido como pompón, que es capaz de absorber hasta 20 veces su peso en agua; pero que desde hace años se extrae sin control hasta llevar este recurso a pasos de volverse escaso y así también desaparecer el agua dulce, que en temporada de verano disminuye cada vez más en este territorio (UACH, 2020).

Los esquemas de trabajo propuestos por la gobernanza local tal vez no sean adecuados en zonas rurales, sobre todo para obtener retroalimentación positiva del estado del recurso ya que los problemas hídricos se atañen a un contexto (Delgado et al., 2021); las organizaciones locales a través de herramientas de gestión como

los sistemas APR pueden tener la capacidad de administrar el recurso hídrico local; pero no la suficiente como para administrar el recurso de forma sostenible sin una mirada integral de cuencas (Delgado et al., 2013) y las disfuncionalidades de la institución que ejerce una gobernanza de carácter central pueden bloquear las condiciones de participación idóneas (Rojos et al., 2018; Delgado et al., 2021).

3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Recopilando la información del marco teórico e interiorizado el contexto de la problemática, se plantea la pregunta de investigación:

“¿Existe una relación entre la vulnerabilidad hídrica y las herramientas de gestión y administración del agua para consumo humano en la comuna de Quemchi?”

4. OBJETIVOS



4.1. Objetivo general

- Evaluar la gestión del recurso hídrico para consumo humano en la comuna de Quemchi, Archipiélago de Chiloé

4.2. Objetivos específicos

- Analizar las tendencias en el régimen de precipitaciones durante los últimos 20 años en la comuna de Quemchi.
- Identificar las brechas relacionadas con la gestión de recurso hídrico para el consumo humano.
- Evaluar la vulnerabilidad hídrica en Quemchi.
- Elaborar propuestas de gestión hídrica en el área de estudio.

5. METODOLOGÍA

5.1. Descripción del área de estudio

La comuna de Quemchi (Figura 1) está ubicada al noreste de la Isla Grande de Chiloé, en los 42° 06' latitud sur y 73° 31' longitud oeste, a 65 kilómetros al sureste de la ciudad de Ancud y a 68 kilómetros al noreste de la ciudad de Castro, provincia de Chiloé, región de Los Lagos. Su principal acceso es por la ruta 5 Sur a 42 Km. de Ancud, en el cruce Degan. Fundada 4 de agosto de 1881, cuenta con una superficie territorial de 440,3 km² de un total regional de 67.013 km² lo que representa un 0,65% de su extensión, cerca del 60% pertenece a la isla grande de Chiloé y un 40% al archipiélago, en este porcentaje se consideran las islas de: Caucahué, los complejos Chauques Butachauques e Isla Tac. (PLADECO, 2015).

El territorio insular de la comuna de Quemchi, está compuesto por las islas Caucahué, el archipiélago de las Islas Chauques, el de las Islas Butachauques e Isla Tac. La Isla Caucahué se ubica a 2,3 millas marinas de Quemchi urbano, en éste sector se pueden visitar los territorios de Morro Lobos, Queler y Quinterquén. La isla Chauques, son un conjunto de islas ubicadas a 14 millas marinas de Quemchi, en su interior se pueden identificar los sectores de Mechuque, Añihué, Tauculón, Voigue y Cheniao. Las islas Butachauques, son un conjunto de islas ubicadas a 18 millas marinas de Quemchi, donde se encuentran los sectores de Isla Aulín, San José, Nayahue, Maluco, Metahue y Coneb. Por su parte la Isla Tac corresponde al territorio de la Comuna más alejado de Quemchi Urbano, ubicada aproximadamente a 20 millas marinas.

Las principales actividades productivas de la comuna son la pesca y la agricultura, extracción de algas (luga y pelillo) y del musgo *S. magellanicum*, cultivo de mitílicos (choros) y otras especies vinculadas al resurgimiento de la industria salmónida tras el brote en 2007 del virus ISA (anemia infecciosa) el que gatilló una grave crisis en el sector (Alvial et al., 2012).

Se sostiene como prioridad, un proceso de capacitación permanente en uso y planes de manejo del musgo, ya existiendo experiencias innovadoras en la materia en Provincia de Llanquihue y Región de Magallanes.

Respecto a la extracción de luga y pelillo, se evidencia la necesidad de avanzar hacia un proceso de comercialización y manejo sustentable de los recursos hidrobiológicos a disposición (ODEPA, 2011).

La comuna presenta un clima templado marítimo lluvioso, con precipitaciones constantes durante todo el año, este tipo de clima puede ser calificado como marítimo, templado, frío y lluvioso, con temperaturas que oscilan entre los 20,1 °C de promedio como máxima y 4 °C como mínima mientras que la temperatura promedio anual alcanza a los 10,9 °C, su cercanía al mar actúa como regulador de las temperaturas extremas. La humedad relativa promedio alcanza al 85% y con una precipitación anual de 2.365 milímetros. Esta zona agroclimática se denomina “Mauñín” y se extiende desde el paralelo 40° hasta el borde oriental de la Isla Grande de Chiloé (PLADECO, 2015).

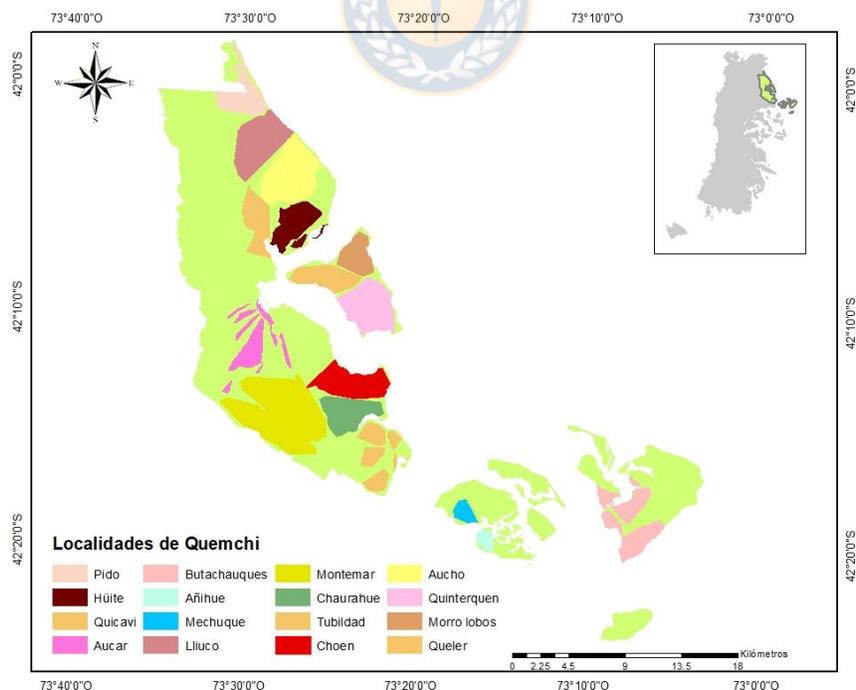


Figura 1. Cartografía descriptiva de la comuna de Quemchi.

Fuente: Todas las figuras (excepto figuras 31, 32, 33 y 34) son elaboración propia

5.2. Enfoque metodológico

El enfoque de trabajo para la investigación es de carácter mixto, es decir, presenta enfoques cuantitativos (medición de fenómenos, herramientas estadísticas) secuenciales y probatorios en conjunto con procedimientos cualitativos los cuales utilizan la recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación (Hernández, 2014). Cada objetivo de trabajo requiere de una metodología específica, a continuación, se desglosan las acciones metodológicas de cada objetivo según sus requerimientos de investigación.

5.3. Análisis de tendencia en las precipitaciones para el período de estudio

La base datos del explorador climático (Cr2) permite recopilar el comportamiento de las precipitaciones en el período de estudio 2000-2020 anuales acumuladas y para un comportamiento estacional se dividen las precipitaciones de la siguiente forma:

- a) Verano: diciembre, enero, febrero
- b) Otoño: marzo, abril, mayo
- c) Invierno: junio, julio, agosto
- d) Primavera: septiembre, octubre, noviembre

Definidas las estaciones, se agrupan las precipitaciones extraídas desde el Cr2 como precipitaciones mensuales acumuladas; usando precipitaciones mensuales acumuladas para cada estación; cada set de datos es sometido al Test de Mann Kendall, análisis de tendencia generado desde el software de R (R Core Team, 2020), usando los paquetes Kendall (A.I. MacLeod, 2011) y Trend (Pohlert, 2020) para la resolución de los códigos en el script del programa. Los valores a analizar en este test son el valor-p; el cual indica una significancia de la tendencia en el tiempo y se contrasta con el valor alfa (0,05) que es dado por el intervalo de

confianza al 95% para la serie temporal, para significancias débiles se usa un valor-p de 0,1 y para una significancia fuerte un valor-p<valor alfa. El segundo valor de interés es el Z_{MK} el cual indica que tan creciente o decreciente es la tendencia en los resultados; este parámetro se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{[\text{Var}(S)]^{0,5}} & \text{si } S>0 \\ 0 & \text{si } S=0 \\ \frac{S+1}{[\text{Var}(S)]^{0,5}} & \text{si } S<0 \end{cases}$$

Figura 2. Ecuación de interés para valor Z_{MK} en análisis de tendencia

El parámetro Z_{MK} oscila entre valores medios de -1 y 1 indicando un comportamiento decreciente y creciente respectivamente. Una vez obtenidos los parámetros objetivos, se interpreta el comportamiento de la serie de tiempo en el período de estudio. Para un Z_{MK} negativo se asume un comportamiento decreciente en la serie de estudio, mientras que valores positivos indican una tendencia creciente en el tiempo para la variable de análisis; para efectos del componente climático el test de Mann Kendall da una jerarquía de incidencia a las precipitaciones en la escasez del recurso hídrico

5.4. Encuesta de sostenibilidad y sistema de gestión hídrica en zonas rurales y urbana

Elaborar una línea de base que represente la realidad hídrica en las zonas rurales es trascendental para efectos de resolución en el trabajo de investigación; (Delgado et al., 2021), en su estudio de gobernanza de agua en el archipiélago de Chiloé propone un esquema de trabajo de carácter cualitativo y cuantitativo, el cual mide la fuente, calidad, disponibilidad y estiaje del recurso. Estos cuatro criterios permiten un acercamiento a la realidad hídrica de la población rural. El sector rural se divide en tres zonas de estudio:

- I. Zona norte (261 familias forman parte del catastro realizado)
- II. Zona sur (173 familias forman parte del catastro realizado)
- III. Zona insular (141 familias forman parte del catastro realizado)

La encuesta engloba una caracterización en la gestión de agua a un nivel domiciliario, se responde a la siguiente tipología de preguntas:

- I. Fuentes naturales de abastecimiento
 - Red pública
 - Pozos
 - Ríos- lagos
 - APR
 - Turberas - humedal
 - Camiones aljibe
 - Otro (abarca fuentes como vertientes de humedales y aguas lluvias)
- II. Grupos familiares conectados a una fuente natural común
- III. Tratamientos de calidad asociados al recurso para uso potable
- IV. Indicadores de mala calidad en abastecimiento de agua
- V. Problemas de salud asociados al consumo de agua potable
- VI. Continuidad del recurso durante el año
- VII. Disminución en la capacidad de abastecimiento de las fuentes naturales
- VIII. Períodos de estiaje por la falta de agua potable en la comunidad

Se aplicó un total de 35 encuestas en las zonas rurales de Quemchi, las cuales a un nivel sectorial se distribuyeron de la siguiente forma:

Zona norte: Hüite, Lliuco, Lliuco la Estancia, Lliuco Montaña, Aucho Frontera, Pido-Metrinken, Tubildad, Aucho Frontera.

Zona sur: Aucar, Aucar Alto, Aucar Montaña, Chaurahue, Chaurahue Sur, Choen, Colo, Montemar, Montemar Alto, Montemar Bajo, Quicaví.

Zona insular: Isla Añihué, Isla Mechuque (sector de Villa Mechuque), Isla Caucahué (sector de Queler y Morrolobos), Islas Butachauques (sector de Coneb e Isla Aulín).

Mientras que, a través de una consulta de expertos e información entregada por el comité de emergencia de la Ilustre Municipalidad de Quemchi se caracteriza el aprovisionamiento urbano para los sectores de Villa Quemchi, Ilusión y Esperanza, Padre Hurtado y Puerto Fernández.

5.5. Fotointerpretación de sistemas APR en la comuna de Quemchi

El Programa de Agua Potable Rural, se inicia en Chile en 1964 como parte de la respuesta pública a la constatación que la mayoría de la población rural de la época, un 94% de ella a inicios de la década de los 60, no contaba con agua potable, con sus secuelas de morbilidad y mortalidad, especialmente infantiles asociadas a la ingesta de agua no potable. Su ámbito de acción territorial es nacional. A través del programa se provee de infraestructura de agua potable rural (APR) a localidades rurales concentradas y semi concentradas, cumpliendo los requisitos establecidos en la metodología de formulación y evaluación de proyectos de agua potable rural del Ministerio de Desarrollo Social. Dicha infraestructura es entregada para su administración, operación y mantención a los respectivos comités o cooperativas de APR pre existentes o constituidos al efecto; realizándose la mantención e inversiones en mejoramiento y ampliación a los sistemas que así lo vayan requiriendo. A través de la respectiva unidad técnica, que corresponde a la empresa concesionaria de servicios sanitarios de la región en la cual se encuentra el APR, se brinda asesoría, capacitación y supervisión a los citados comités y cooperativas en apoyo al desempeño de sus funciones (MOP & DOH, 2015).

Como la principal herramienta de gestión hídrica en zonas rurales se identifican los sistemas de agua potable rural oficiales y registrados por la Dirección de Obras Públicas, de acuerdo al Oficio Ordinario N° 685, de fecha 28.10.2020 de la Municipalidad de Quemchi se estipula un número total de sistemas APR en la comuna:

- a) Isla Añihue
- b) Isla Mechuque
- c) Lliuco-Aucho
- d) Quicaví

De acuerdo a la información entregada por el departamento de medio ambiente de la Ilustre Municipalidad de Quemchi, usando el software Google Earth se realiza interpretación de los kmz que recogen los sistemas y redes de distribución del recurso hídrico para los sectores mencionados.



5.6. Conectividad hídrica en las zonas rurales de la comuna de Quemchi

Se identifican las brechas del recurso por medio del parámetro razón de conectividad hídrica, el cuál mide la cantidad de familias conectadas a un sistema APR en contraste con el total de familias en la zona rural y en los sectores de cada zona dividida.

$$\text{Razón de Conectividad Hídrica (RCH): } \frac{\text{Familias conectadas a un sistema de APR formalizado}}{\text{Total de familias}} \times 100$$

Figura 3. Ecuación de interés para conectividad hídrica en zonas rurales de Quemchi.

5.7. Análisis de vulnerabilidad hídrica

El marco analítico, conocido como marco de Impulsores, Presiones, Estado, Impactos y Respuestas (DPSIR) se utiliza para realizar el análisis central de la evaluación de la vulnerabilidad de los recursos hídricos. Este marco integra todos los factores relacionados con los cambios antropogénicos y ambientales (causados por las actividades humanas y los procesos naturales), incorporando las presiones sociales, económicas, institucionales y de los ecosistemas naturales (Huang & Cai, 2009).

Para el trabajo de investigación, el análisis DPSIR con enfoque en gestión integrada del recurso hídrico reúne a una comisión de expertos la cuál fue integrada por el siguiente grupo de trabajo:

- 1) Víctor Guaquin (departamento de medio ambiente de la Ilustre Municipalidad de Quemchi)
- 2) Walter Quinan (departamento de medio ambiente de la Ilustre Municipalidad de Quemchi)
- 3) Daniel Hidalgo (dirección de obras municipales de la Ilustre Municipalidad de Quemchi)
- 4) Manuel Oñate (departamento de emergencias de la Ilustre Municipalidad de Quemchi)
- 5) María Triviño (departamento de emergencias de la Ilustre Municipalidad de Quemchi)

El trabajo de la matriz DPSIR (Figura 3) consiste en la descripción de los siguientes hitos de trabajo:

- I. Identificación de problemática (ISSUES)
- II. Fuerzas de acción (DRIVERS)
- III. Presiones o acciones (PRESSURES)
- IV. Estado del recurso (STATE)
- V. Impactos (IMPACT)

VI. Respuestas (RESPONSES)

En el hito (I), se identifica el problema de estudio para establecer y planificar los pasos de la matriz y elaborar soluciones pertinentes y focalizados al objetivo o recurso de trabajo, luego en el paso (II) se denotan las fuerzas de acción las cuales pueden ser de carácter origen natural como el cambio climático o actividades productivas de origen antrópico como el urbanismo. En la descripción realizada en la fase (III) se enumeran las acciones generadas por las fuerzas de acción las cuales ejercen una presión sobre el estado del recurso, como, por ejemplo, el comportamiento en las precipitaciones o el crecimiento y distribución poblacional en el área de estudio. Para el paso (IV) se hace un levantamiento de información del estado del recurso objetivo para el área estudio y sirve como línea de base para proyectar el alcance de las acciones consideraciones como el estado de cuerpos de agua, distribución de caudales de aprovisionamiento humano, etc. La categoría (V) describe y proyecta la magnitud y el carácter de los potenciales impactos asociados a la presión de las acciones sobre el estado base del recurso objetivo. Finalmente, en la fase (VI) se proponen acciones correctivas que permiten fomentar la gestión del recurso y de manera progresiva disminuir la fuerza de la problemática sobre el área de estudio.

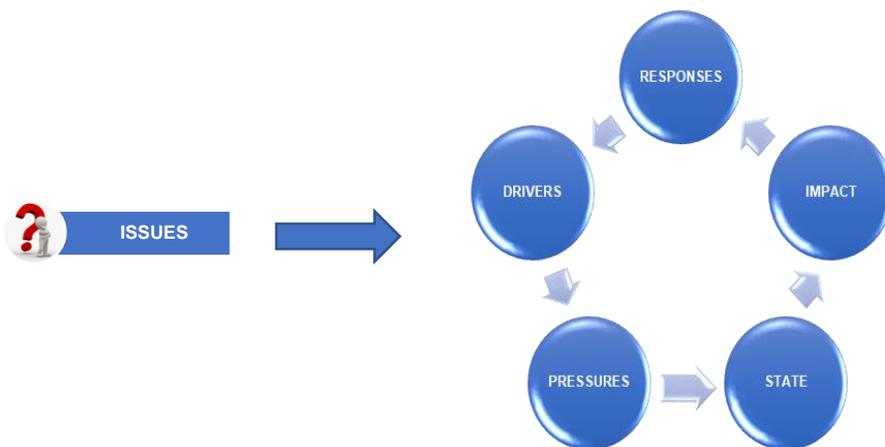


Figura 4. Matriz de ordenamiento DPSIR.

5.8. Focalización de sectores vulnerables en la comuna de Quemchi

El Instituto Nacional de Estadísticas (INE) entrega una base de datos del pre-censo del año 2016, en formato Shapefile y el software de ArcGIS 10.3 (ESRI, 2003) como herramienta de gestión; se clasifica las viviendas rurales denotadas con vulnerabilidad hídrica. Clasificación que se elabora en base a tres criterios:

- 1) Período crítico de estiaje (meses)
- 2) No cuenten con un tratamiento (extracción directa de fuentes naturales)
- 3) Interrupción de caudal (pérdida en la continuidad en la extracción del recurso hídrico desde su fuente)

5.9. Propuestas de Gestión Integrada de Recursos Hídricos

5.9.1 Análisis de ordenamiento territorial y humedales

Los humedales son un ecosistema de relevancia hídrica y ambiental en todo el Archipiélago de Chiloé, integrar a la comunidad en el esquema de conservación y manejo de este ecosistema es una de las propuestas del trabajo de investigación. Para esto se toma la base de datos obtenida en el trabajo de (Quinan,2020) que contiene los humedales reconocidos por la comunidad; a través de un geoprocesamiento en ArcGis (ESRI, 2003), se entrega una cartografía descriptiva de los humedales en una unidad territorial de análisis de subsubcuenca hidrográfica en el área de estudio. De acuerdo al contexto hídrico, ambiental y social de cada subsubcuenca se proponen medidas de gestión para estos humedales.

5.9.2 Análisis de cuerpos de agua con enfoque en Gestión Integrada de Cuencas

El aprovisionamiento sostenible en el tiempo para la comunidad no sólo contempla la variable de gestión, la conservación de las fuentes naturales es de vital

importancia para asegurar caudales para uso potable en Quemchi. En conjunto con la línea de base de sectores que requieren de un sistema APR, se presentan los cuerpos de agua dulce de interés en la comuna con potencial caudal de oferta natural para dichos sectores. Para caracterizar los ecosistemas acuáticos continentales dentro de un marco territorial de subsubcuenca hidrográfica se usó la línea de base ofrecida por CONAF en su catastro de uso de suelo y vegetación del 2013. A través de un geoprocesamiento, se usó el software ArcGis (ESRI, 2003) para entregar una cartografía descriptiva de los ecosistemas de interés en la unidad territorial de análisis de subsubcuenca hidrográfica; posteriormente se proponen medidas de gestión para los cuerpos de agua según los requerimientos necesarios en cada subsubcuenca.

Una política hídrica debe entregar lineamientos para la adecuada protección y restablecimiento de los ecosistemas relacionados con el agua, a través del monitoreo de la salud de los ecosistemas, que alerte de los casos en riesgo y que oriente la intervención directa para su conservación y restablecimiento en donde se pueda alcanzar el mayor impacto (MOP, 2020).

Se recurre a instrumentos de gestión ambiental como la Ley de Humedales Urbanos, Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas y Red de Turberas para aplicar las propuestas respaldadas por la legislación ambiental actual. Apoyado por el concepto de Soluciones Basadas en la Naturaleza (Huang & Cai, 2009). Con el fin de plasmar la importancia de las medidas propuestas en los hitos anteriores.

6. RESULTADOS

6.1. Análisis estadístico de precipitaciones en un período de estudio de 20 años

6.1.1. Tendencia de precipitaciones anuales acumuladas

Para el análisis de estadística de MannKendall aplicado a las precipitaciones anuales acumuladas para el periodo 2000-2019, el test arroja un valor-p = 0,455

con lo cual se asume una tendencia no significativa ($\text{valor-p} \gg \text{valor alfa}$). Para el valor Z_{MK} se observa una inclinación decreciente en el comportamiento de las precipitaciones, sin embargo, no es suficiente para estimar una baja en las mismas ($Z_{MK} = -0,746$). Los parámetros obtenidos no demuestran una significancia o comportamiento decreciente con las magnitudes necesarias para asumir una incidencia en las precipitaciones anuales acumuladas en el período de estudio (Figura 5). Con esto se descarta una presión ejercida sobre el recurso hídrico de las precipitaciones a una escala temporal anual acumulada.

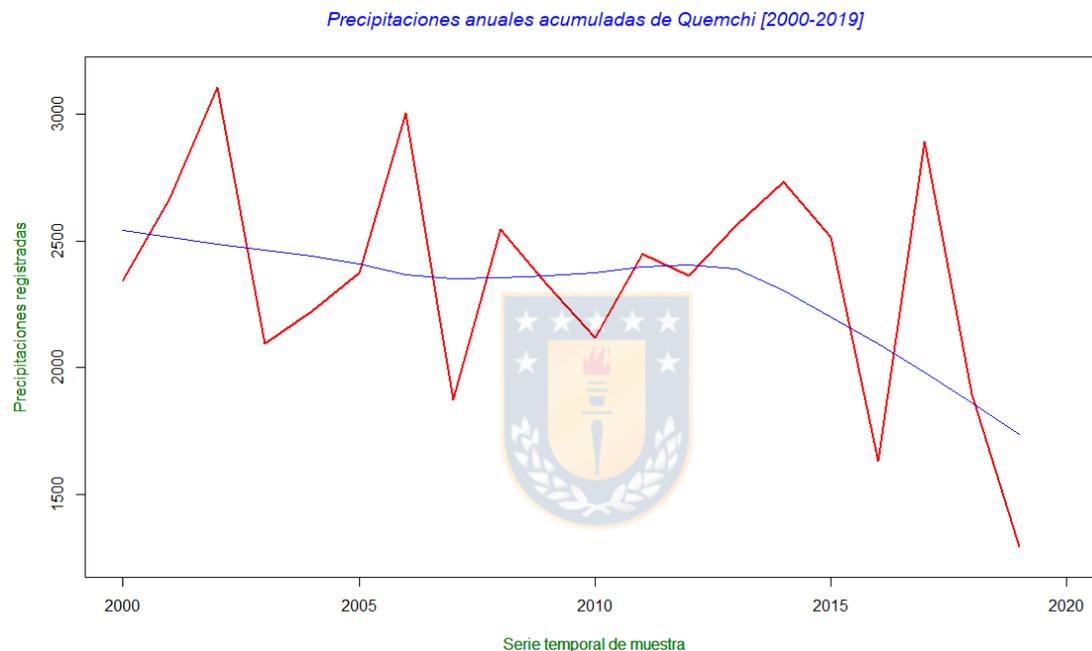


Figura 5. Test de MannKendall para precipitaciones anuales acumuladas 2000-2019.

6.1.2. Tendencia de precipitaciones estacionales para la temporada de otoño

Para el análisis de estadística de MannKendall aplicado a las precipitaciones estacionales en otoño para el periodo 2000-2019, el test arroja un $\text{valor-p} = 0,347$ con lo cual se asume una tendencia no significativa ($\text{p-value} \gg \text{alpha}$). Para el valor Z_{MK} se observa una inclinación decreciente en el comportamiento de las

precipitaciones, sin embargo, no es suficiente para estimar una baja en las mismas ($Z_{MK} = -0,942$). Los parámetros obtenidos no demuestran una significancia o comportamiento decreciente con las magnitudes necesarias para asumir una incidencia en las precipitaciones estacionales para otoño en el período de estudio (Figura 6). Con esto se descarta una presión ejercida sobre el recurso hídrico de las precipitaciones a una escala temporal estacional de otoño acumulada.

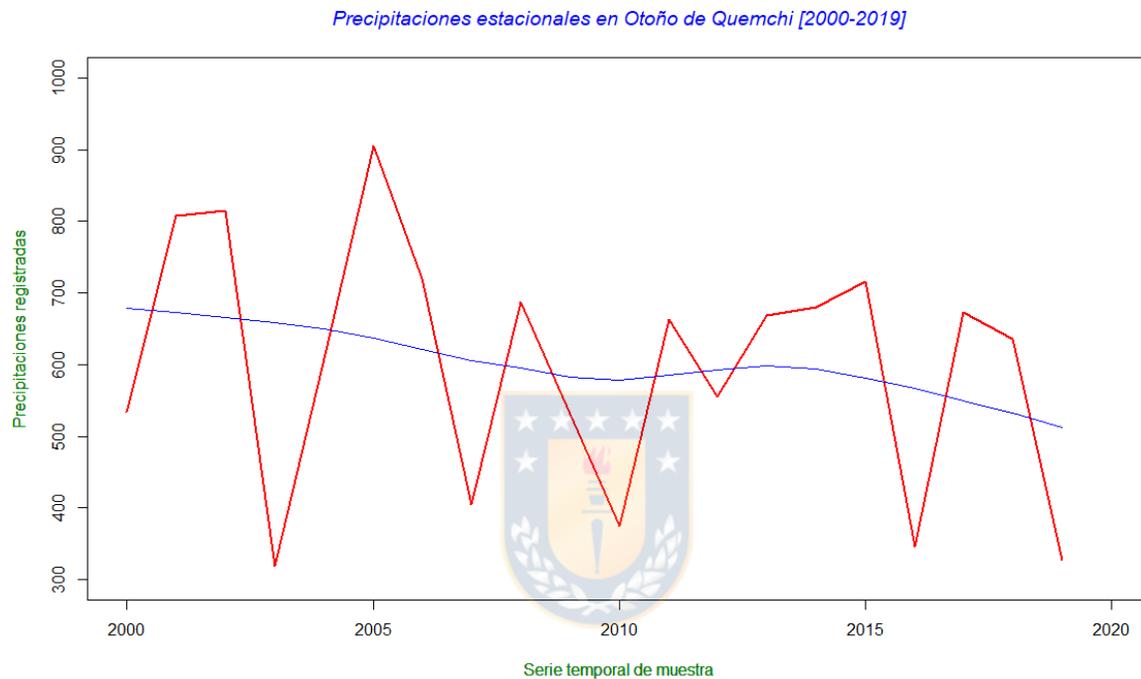


Figura 6. Test de MannKendall para precipitaciones estacionales de otoño 2000-2019.

6.1.3. Tendencia de precipitaciones estacionales para la temporada de invierno

Para el análisis de estadística de Mann Kendall aplicado a las precipitaciones estacionales en invierno para el periodo 2000-2019, el test arroja un valor-p = 0,455 con lo cual se asume una tendencia no significativa ($p\text{-value} \gg \alpha$). Para el valor Z_{MK} se observa una inclinación decreciente en el comportamiento de las precipitaciones, sin embargo, no es suficiente para estimar una baja en las mismas ($Z_{MK} = -0,74$). Los parámetros obtenidos no demuestran una significancia o

comportamiento decreciente con las magnitudes necesarias para asumir una incidencia en las precipitaciones estacionales para invierno en el período de estudio (Figura 7). Con esto se descarta una presión ejercida sobre el recurso hídrico de las precipitaciones a una escala temporal estacional de invierno acumulada.

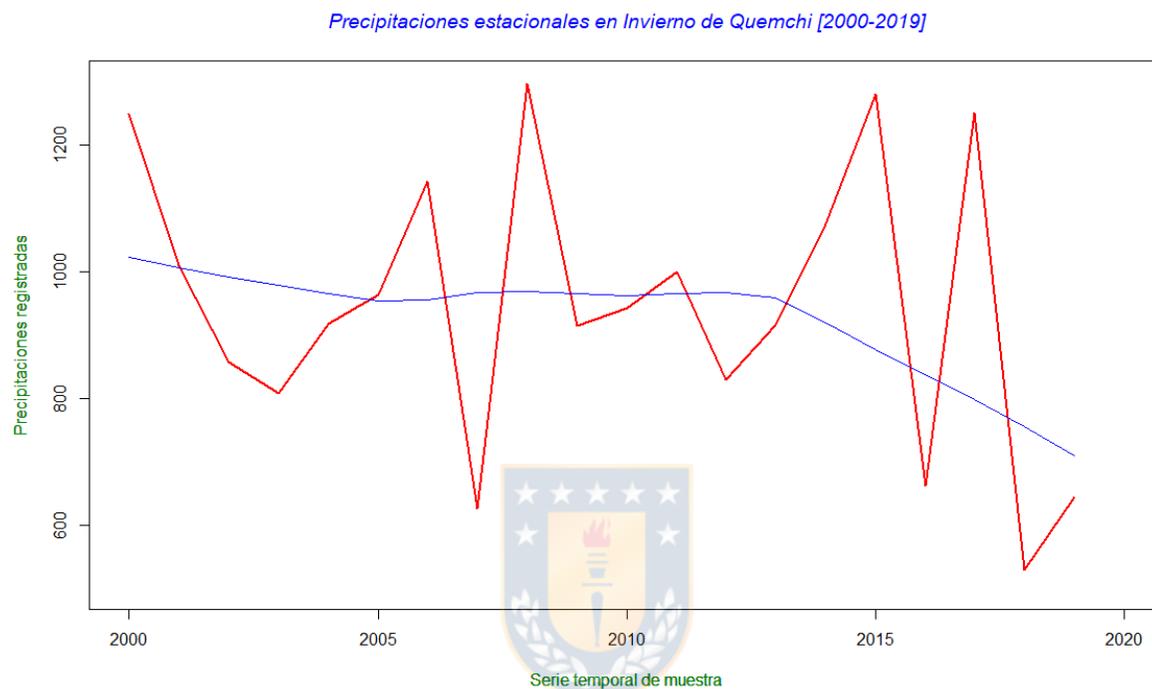


Figura 7. Test de MannKendall para precipitaciones estacionales de invierno 2000-2019.

6.1.4. Tendencia de precipitaciones estacionales para la temporada de primavera

Para el análisis estadístico de Mann Kendall aplicado a las precipitaciones estacionales en primavera para el periodo 2000-2019. El test arroja un valor-p = 0,538 con lo cual se asume una tendencia no significativa ($p\text{-value} \gg \alpha$). Para el valor Z_{MK} se observa una inclinación decreciente en el comportamiento de las precipitaciones, sin embargo, no es suficiente para estimar una baja en las mismas ($Z_{MK} = -0,617$). Los parámetros obtenidos no demuestran una significancia o comportamiento decreciente con las magnitudes necesarias para asumir una

incidencia en las precipitaciones estacionales para primavera en el período de estudio (Figura 8). Con esto se descarta una presión ejercida sobre el recurso hídrico de las precipitaciones a una escala temporal estacional de primavera acumulada.

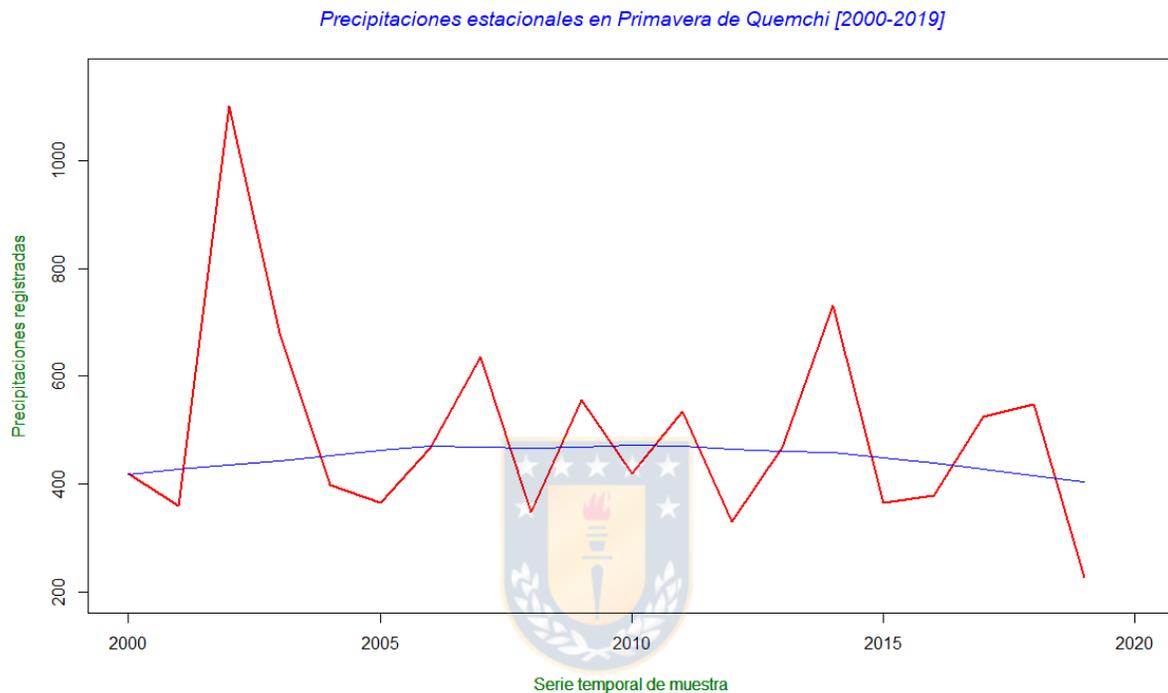


Figura 8. Test de MannKendall para precipitaciones estacionales de primavera 2000-2019.

6.2.5 Tendencia de precipitaciones estacionales para la temporada de verano

En el test de Mann Kendall aplicado a las precipitaciones estacionales en verano para el periodo 2000-2019. Se obtiene un valor-p = 0,0852, magnitud que indica una leve significancia en el comportamiento de las precipitaciones para la temporada de verano para el valor Z_{MK} se tiene un resultado que demuestra una fuerte tendencia decreciente ($Z_{MK} = -1,72$). De acuerdo a los parámetros del análisis de tendencia se asume un comportamiento decreciente levemente significativo para la temporada

de verano en el período de estudio (Figura 9). La baja o leve significancia se puede explicar a través de la insuficiencia de datos, con un espectro más amplio el indicador estadístico puede variar. Con esto, se le asigna al comportamiento pluviométrico estacional en verano la categoría de potencial presión ejercida sobre el recurso hídrico y con esto un factor de vulnerabilidad hídrica en la comuna de Quemchi.

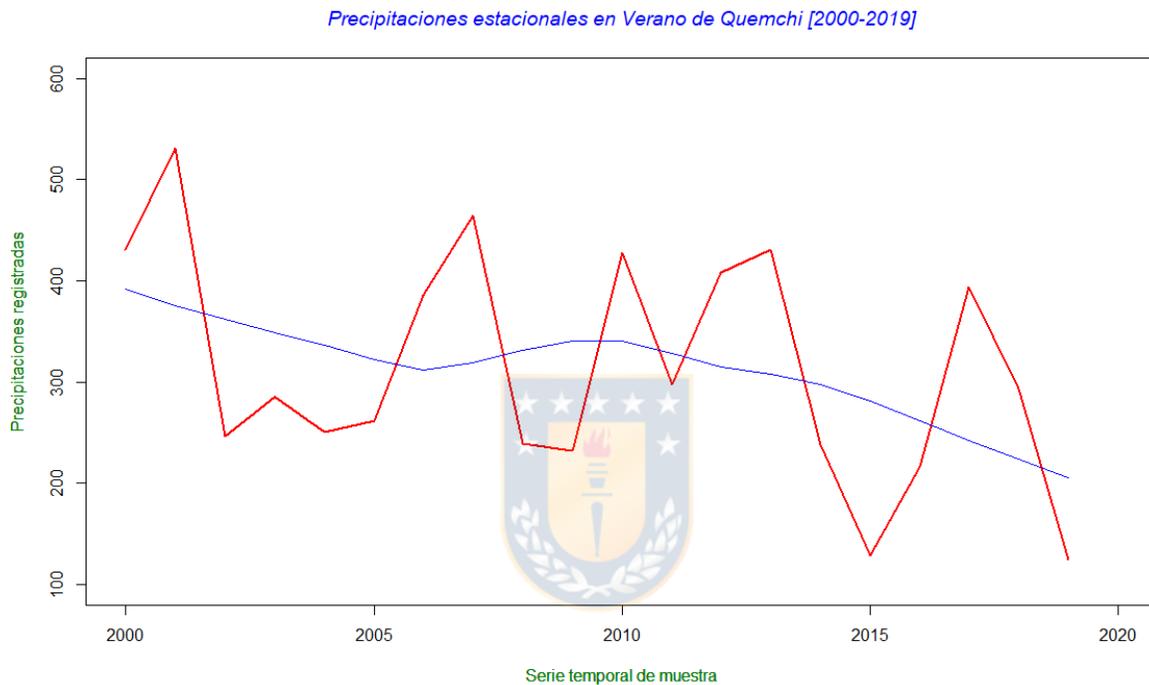


Figura 9. Test de MannKendall para precipitaciones estaciones de verano 2000-2019.

6.2. Catastro de gestión de agua para uso potable en zonas rurales y en la zona urbana de la comuna de Quemchi

6.2.1. Zona norte

Para la zona norte, los sectores rurales objetivo son: Hüite, Lliuco, Lliuco la Estancia, Montaña, Aucho-Frontera, Pido y Tubildad. El universo de muestra corresponde a un total de 261 familias que forman parte del estudio.

Los sectores de Lliuco y Aucho-Frontera disponen del único sistema APR el cual se aprovisiona de pozos y cuenta con una red de distribución de agua potable con destino a 100 hogares, los sectores de Tubildad y Hüite se caracterizan por usar pozos y vertientes (salidas de humedales en altura) como fuente de aprovisionamiento, este último sector presenta un proyecto para la ejecución de un sistema APR; Pido presenta una comitiva de agua integrada por 22 familias las cuales usan un pozo como aprovisionamiento común. Lliuco la Estancia presenta la fuente de aprovisionamiento más continua de los sectores objetivos; una vertiente que suministra de agua a 9 familias. El sector que más problemas presenta relacionado a fuentes de aprovisionamiento es la localidad de Montaña; la fuente de aprovisionamiento para el sector es un cuerpo de agua lacustre al cual llevan animales a beber y es un foco de acumulación de residuos domiciliarios.

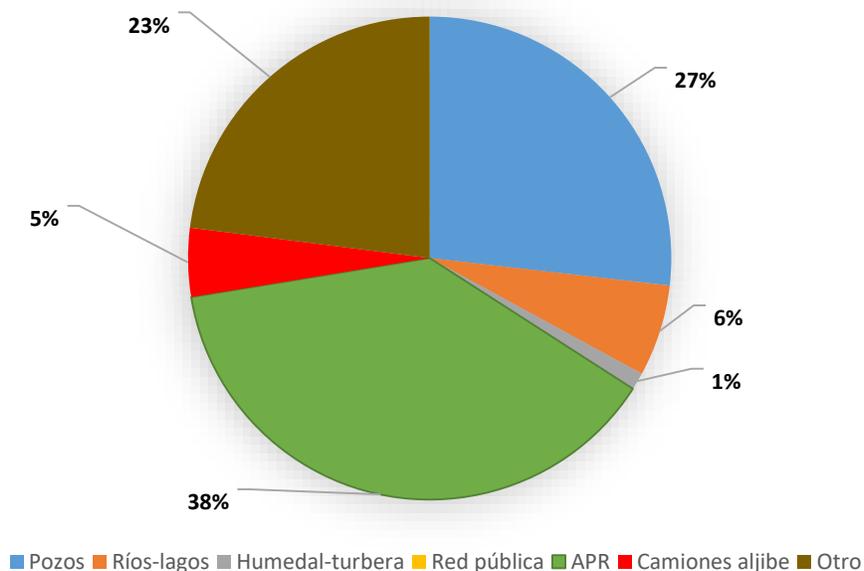


Figura 10. Caracterización de las fuentes de aprovisionamiento de agua para uso potable en la zona norte de Quemchi.

Para efectos de calidad, un alto porcentaje de las familias cuentan con sistemas de tratamiento ya sea a un nivel de organización como las comitivas de agua o sistemas domiciliarios individuales; tanto cloración y filtración son tratamientos hechos en la zona norte; sin embargo, estos sistemas de calidad no garantizan de manera absoluta un estándar de calidad para uso potable ya que durante el año la comunidad presenta turbidez y mal olor en su caudal de aprovisionamiento. El sector más vulnerable a esta arista es Montaña, el cuerpo lacustre de agua sirve como fuente para ganado, la materia orgánica y los residuos domiciliarios que se acumulan en la laguna presentan un potencial riesgo contra la salud de la comunidad.

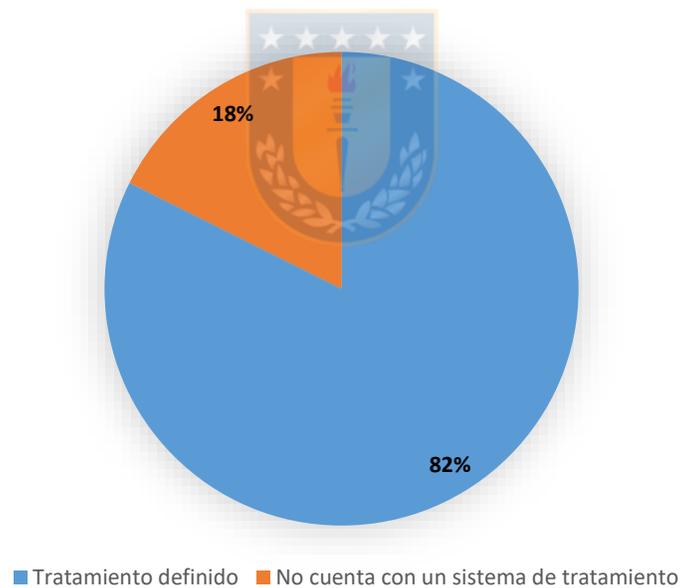


Figura 11. Presencia de un sistema de tratamiento para la óptima calidad de agua de uso potable en la zona norte de Quemchi.

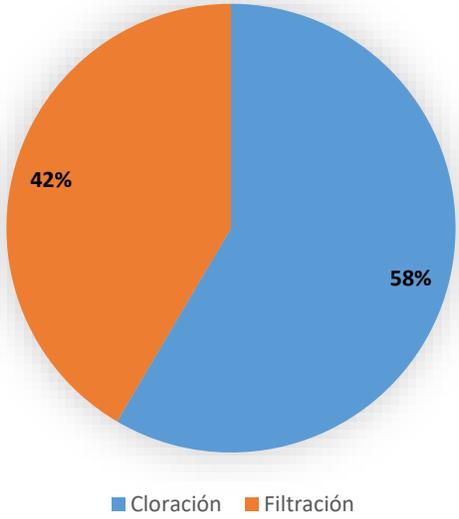


Figura 12. Clasificación de tratamientos de calidad de agua para uso potable en la zona norte de Quemchi.

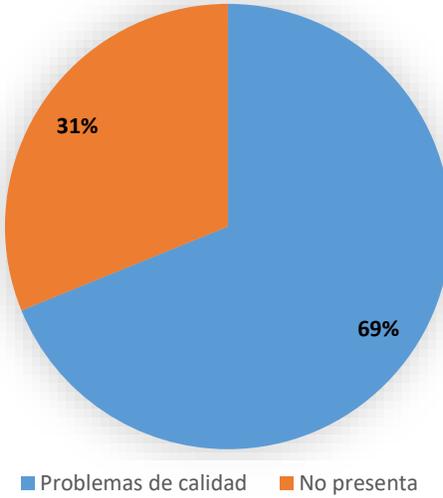


Figura 13. Presencia de agentes físicos, químicos y/o biológicos que alteran la calidad de agua para uso potable en la zona norte de Quemchi.

La continuidad de agua para uso potable en los sectores objetivo es alta; sin embargo, las oscilaciones en las bajas de agua pueden tener una duración que va desde las semanas hasta meses, en los sectores de Hüite y Tubildad las cotas de agua se van modificando cada vez más lo cual hace difícil su extracción para consumo humano, en el sector de Montaña en la temporada de verano la dependencia hacia los camiones aljibe es muy alta en comparación a otros sectores al punto de ser exclusivamente dependientes, es decir, cualquier modificación en las rutas de los camiones aljibes gestionados por el departamento de emergencias de la Ilustre Municipalidad de Quemchi afecta de sobremanera la calidad de vida de la comunidad en el sector de Montaña.

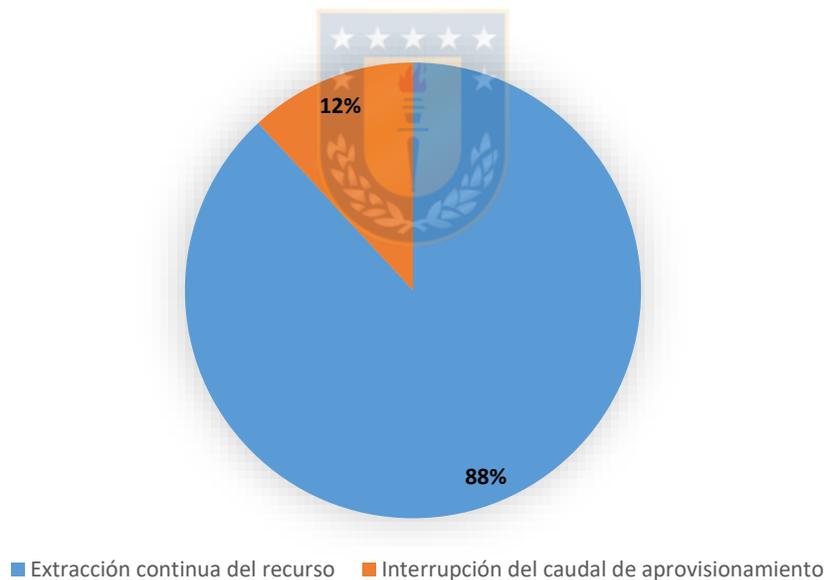


Figura 14. Continuidad en los caudales de aprovisionamiento de agua para uso potable en la zona norte de Quemchi.

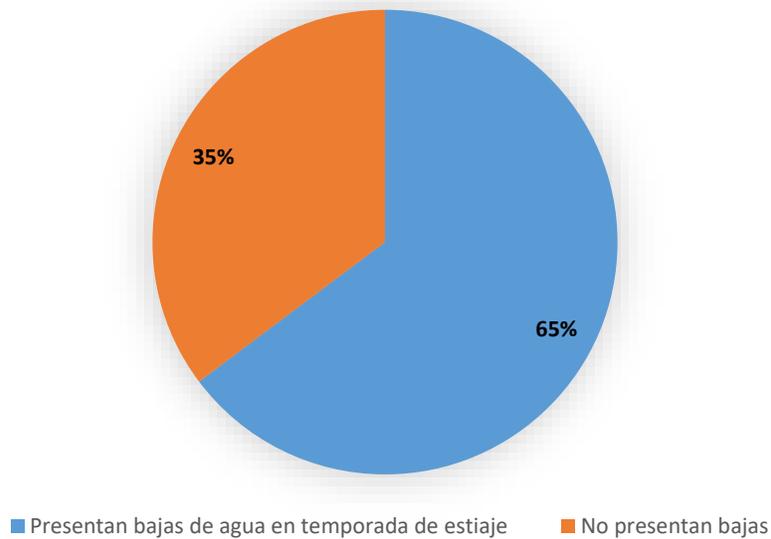


Figura 15. Efectos de temporada de estiaje en la baja de los niveles de aprovisionamiento de agua para uso potable en la zona norte de Quemchi.

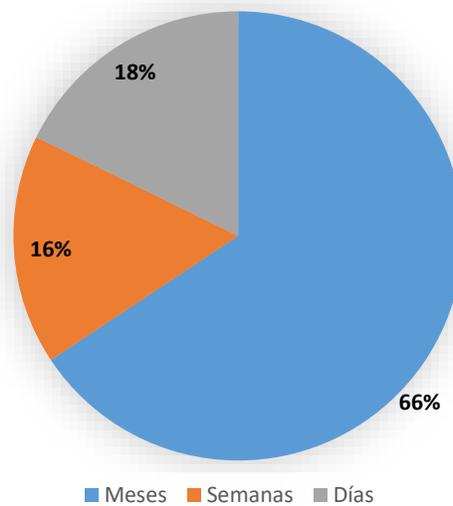


Figura 16. Período de baja de los niveles de aprovisionamiento de agua para uso potable en la zona norte de Quemchi.

6.2.2. Zona sur

Para la zona sur, los sectores rurales objetivo son: Aucar, Aucar Alto, Montemar, Montemar Alto, Montemar Bajo, Colo, Choen, Chaurahue, Chaurahue sur y Quicaví. El universo de muestra corresponde a un total de 173 familias que forman parte del estudio.

En la zona sur, el sector de Quicaví es el único que cuenta con un sistema APR el cuál abastece a más de 80 familias con una captación superficial como fuente natural, en el sector de Aucar se denota un proyecto para establecer un sistema de APR, mientras que en el sector de Aucar Alto se abastecen de captaciones superficiales y pozos. El sector de Montemar se abastece de cuerpos de agua lacustres, en Montemar Alto de pozos y cuerpos de agua lacustres, para Montemar bajo el aprovisionamiento por vertientes (salidas de humedales en altura) y pozos son la fuente más común. Para el sector de Choen, la fuente de abastecimiento que se levantó para las 15 familias de muestra fueron los pozos y en Colo se cuenta con una captación superficial continua para la comunidad. En Chaurahue y Chaurahue Sur la fuente que se presenta con una mayor frecuencia son las vertientes

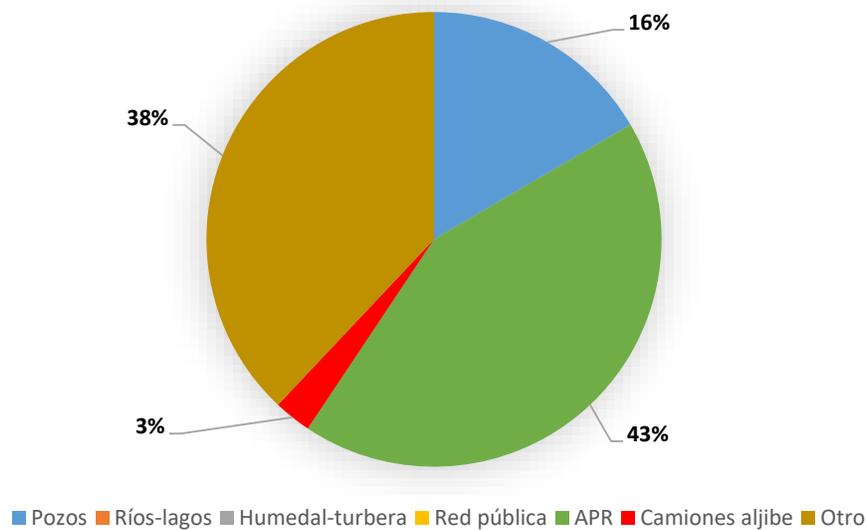


Figura 17. Caracterización de las fuentes de aprovisionamiento de agua para uso potable en la zona sur de Quemchi.

La gestión de calidad del recurso hídrico en la zona sur presenta menos frecuencia que en la zona norte, se caracteriza por la absoluta dominancia de la cloración como sistema de tratamiento previo al consumo, se denotan problemas de calidad como turbidez, especialmente en los sectores de Montemar Alto y Aucar Alto; estos agentes pueden ser un potencial riesgo a la salud de la comunidad. Problemas de calidad que se presentan a lo largo del año, no en una temporada en específico.

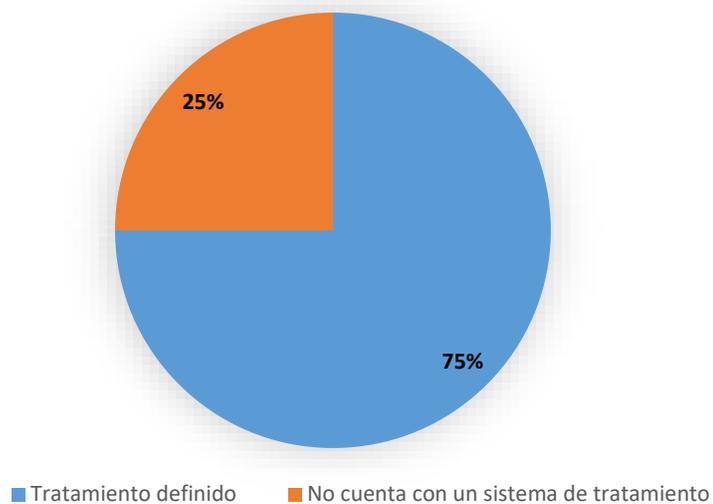


Figura 18. Presencia de un sistema de tratamiento para la óptima calidad de agua de uso potable en la zona sur de Quemchi.

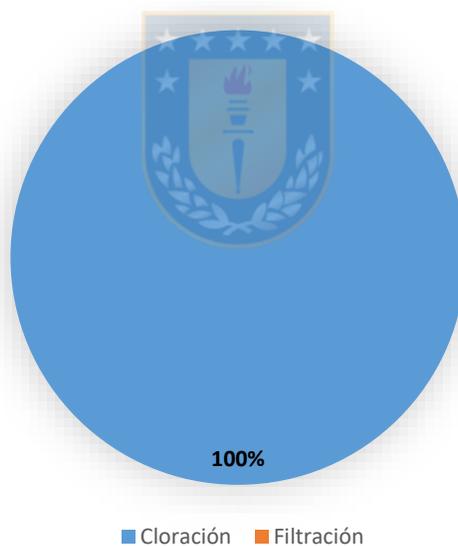


Figura 19. Clasificación de tratamientos de calidad de agua para uso potable en la zona sur de Quemchi.

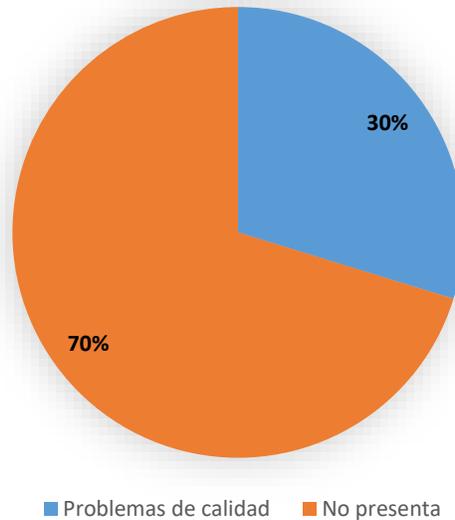


Figura 20. Presencia de agentes físicos, químicos y/o biológicos que alteran la calidad de agua para uso potable en la zona sur de Quemchi.

La continuidad de los caudales de aprovisionamiento y del recurso freático en la zona sur es óptimo, sin embargo, para los sectores de Montemar Alto, Choen y Chaurahue sur la interrupción del recurso es significativa y los períodos de estiaje se registran desde las semanas hasta meses. El aprovisionamiento y apoyo de los recursos de emergencia, como los camiones aljibe, gestionados por el departamento de emergencias de la Ilustre Municipalidad de Quemchi se informan como herramienta de gestión principal, recurso que no es continuo en el tiempo puesto que la trazabilidad de los viajes de estos camiones aljibe no es constante en la zona sur.

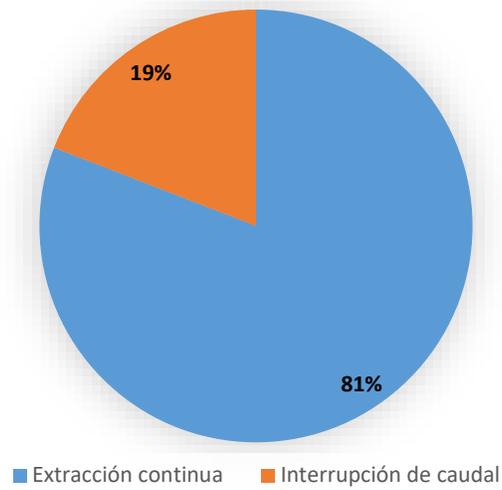


Figura 21. Continuidad en los caudales de aprovisionamiento de agua para uso potable en la zona sur de Quemchi.

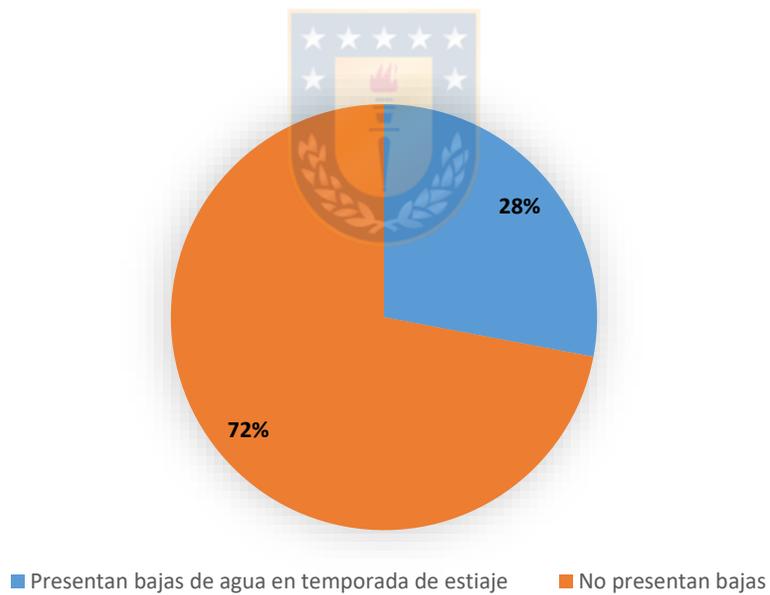


Figura 22. Efectos de temporada de estiaje en la baja de los niveles de aprovisionamiento de agua para uso potable en la zona sur de Quemchi.

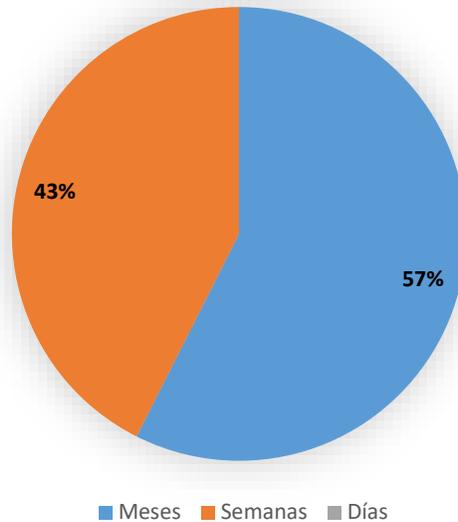


Figura 23. Período de baja de los niveles de aprovisionamiento de agua para uso potable en la zona sur de Quemchi.



6.2.3. Zona insular

Para la zona insular, los sectores rurales objetivo son: Isla Caucahué (sector de Morro Lobos, Queler y Quinterquén), Isla Añihue, Isla Mechuque (sector de villa Mechuque), Islas Butachauques (sector de Coneb e Isla Aulín). El universo de muestra corresponde a un total de 141 familias que forman parte del estudio.

El aprovisionamiento en la zona insular de la comuna de Quemchi es heterogéneo, las islas Añihue y Mechuque cuentan con sistemas APR; la primera se alimenta desde un pozo profundo abasteciendo a 80 hogares y la segunda desde una captación superficial aprovisiona de agua a 23 hogares en el sector de Villa Mechuque. En las islas Butachauques, para la isla Aulín se tomó un registro de captación por medio de pozos y para el sector de Coneb se denota un sistema de captación por medio de una comitiva de agua integrada por 6 hogares. La isla Caucahué, en los sectores de Morro Lobos, Queler y Quinterquén las fuentes de

aprovisionamiento se encuentran muy fragmentadas; desde sistemas de captaciones de aguas lluvias a pozos, no existen comités de agua o asociaciones de vecinos con fuentes de agua común, los sistemas de captación individual domiciliarios son la vía más frecuente en la isla. Para la isla Caucahué se denota un proyecto de pozo profundo, diseño de red de distribución pendiente, sistema ejecutado y patrocinado por la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE).

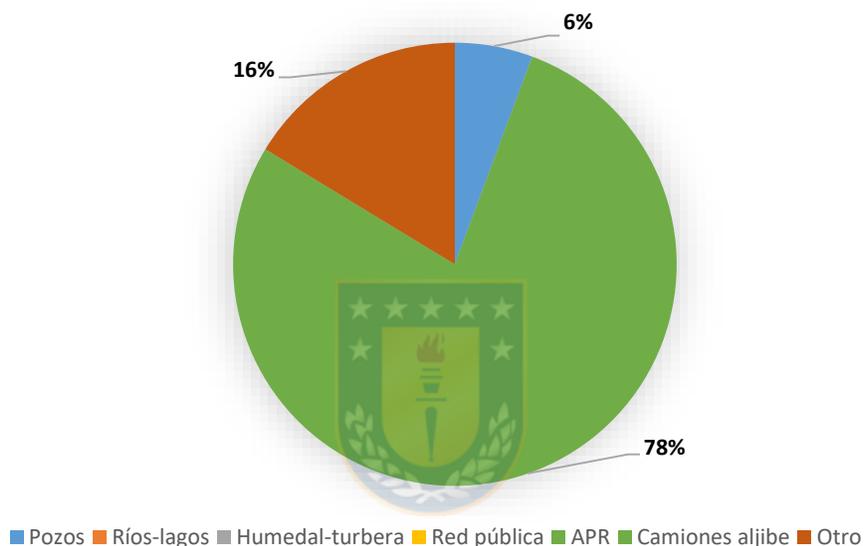


Figura 24. Caracterización de las fuentes de aprovisionamiento de agua para uso potable en la zona insular de Quemchi.

Los sistemas de tratamiento en la zona insular presentan distintas características, para la isla Añihue y la isla Mechuque se denotan sistemas consolidados; en las islas Butachauques en el sector de Coneb se registraron sistemas tanto de cloración y filtración mientras que en la Isla Aulín no cuentan con herramientas de gestión de calidad para agua de uso potable. En la isla Caucahué, la cloración se presenta como el tratamiento más común. Problemas de calidad como turbidez se encontraron para Villa Mechuque, Isla Caucahué y la Isla Aulín.

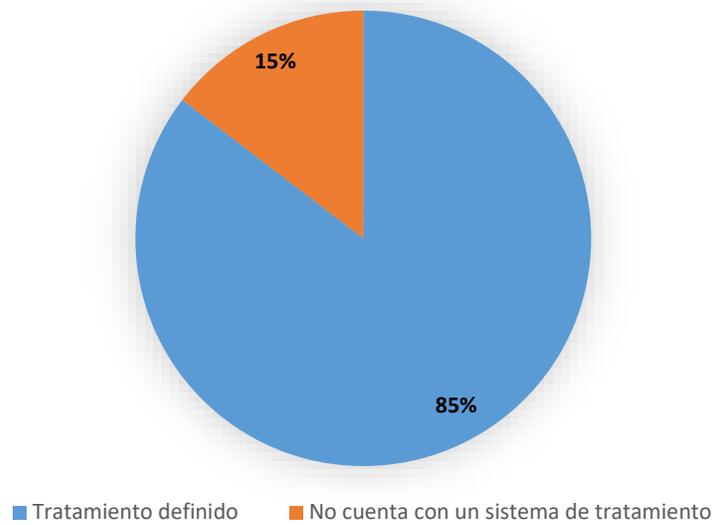


Figura 25. Presencia de un sistema de tratamiento para la óptima calidad de agua de uso potable en la zona insular de Quemchi.

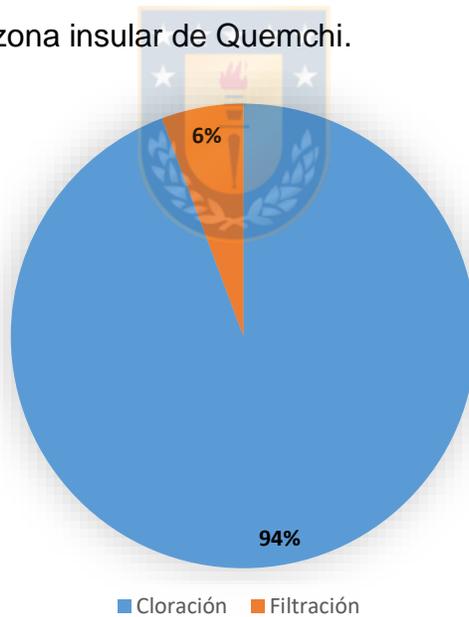


Figura 26. Clasificación de tratamientos de calidad de agua para uso potable en la zona insular de Quemchi.

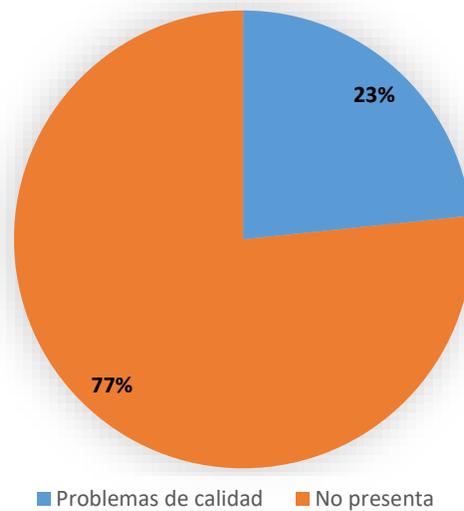


Figura 27. Presencia de agentes físicos, químicos y/o biológicos que alteran la calidad de agua para uso potable en la zona insular de Quemchi.

La continuidad en el acceso para el recurso se mantiene constante en las islas Añihué y Mechuque, para las Islas Butachauques se denota un caudal constante para el sector de Coneb mientras que en la Isla Aulín presentan una interrupción de caudal y baja en el caudal de aprovisionamiento con un período de estiaje asociado a meses (temporada de verano). Para la isla Caucahué se presentan pérdida de continuidad en el recurso y bajas críticas en la cota de agua para pozos y caudales mínimos para captaciones superficiales con un período de estiaje de meses; durante todo el verano Caucahué depende exclusivamente del aprovisionamiento de camiones aljibe.

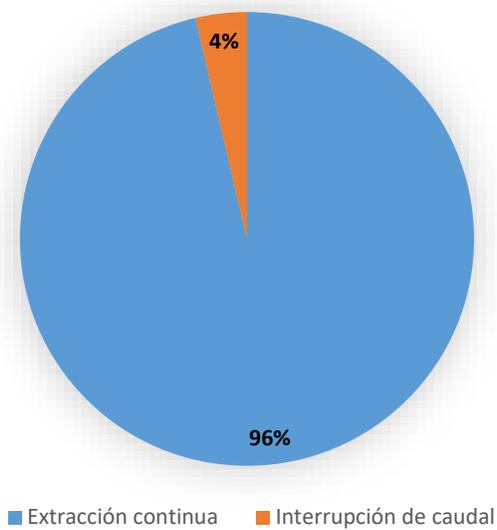


Figura 28. Continuidad en los caudales de aprovisionamiento de agua para uso potable en la zona insular de Quemchi.

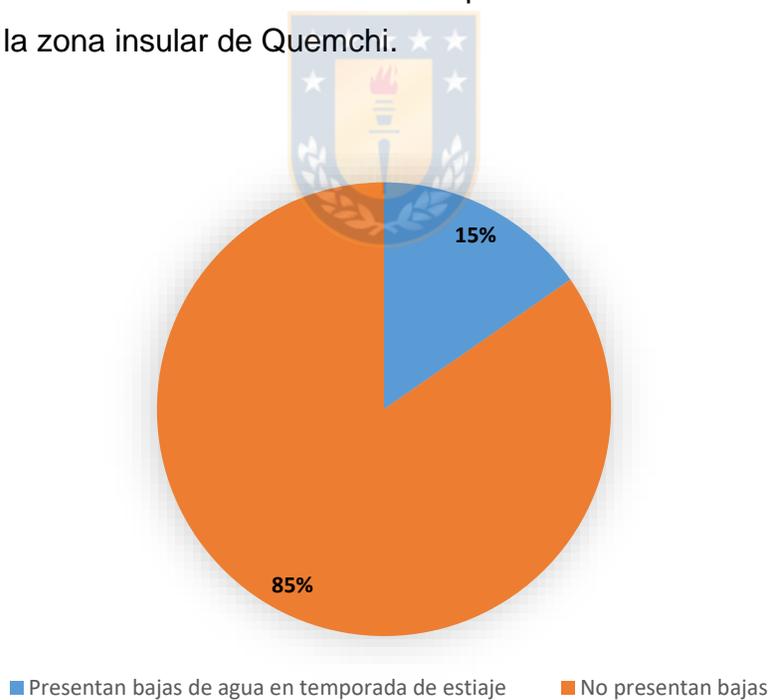


Figura 29. Efectos de temporada de estiaje en la baja de los niveles de aprovisionamiento de agua para uso potable en la zona insular de Quemchi.

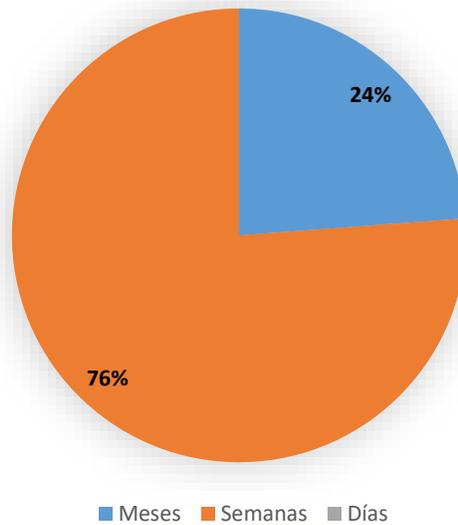


Figura 30. Período de baja de los niveles de aprovisionamiento de agua para uso potable en la zona insular de Quemchi.

6.1.4 Zona Urbana

Para la población asentada en Villa Quemchi, Ilusión y Esperanza, Padre Hurtado y Puerto Fernández se cuenta con un estanque de doscientos mil litros cuya fuente natural de aprovisionamiento es una captación superficial (río), para efectos de calidad en el recurso para uso potable, este estanque cuenta con un tratamiento de cloración. La cantidad de hogares beneficiados con esta red de distribución cuenta con un total de 1029 familias en el Quemchi urbano. Este sistema de agua potable no cuenta con un diseño oficial y no ha sufrido modificaciones de acuerdo a la ley ambiental vigente puesto que la infraestructura sigue siendo la misma desde hace más de 50 años. La zona urbana no cuenta con una red de alcantarillado y tampoco con una planta de tratamiento de aguas servidas, para efectos de disposición de

aguas residuales solo el sector de Ilusión y Esperanza cuenta con una red de alcantarillado, el resto de los sectores urbanos solo cuentan con fosas sépticas.

6.3. Sistemas de gestión y conectividad hídrica en la comuna de Quemchi

6.3.1. Infraestructura de gestión en la comuna de Quemchi

Los sistemas de Agua Potable Rural registrados por la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) representan el instrumento de gestión para captar desde fuentes naturales el recurso hídrico para uso potable en comunidades rurales. A continuación, se adjuntan los sistemas registrados para la comuna de Quemchi en la zona norte, zona sur y zona insular en formato KMZ.

Para la zona norte (Figura 31), los sectores de Lliuco y Aucho - Frontera comparten un aprovisionamiento cuya fuente natural es un pozo profundo. Por su parte, para efectos de calidad cuentan con un tratamiento de cloración, filtración y permanganato de potasio. Esta red de distribución lleva agua potable a 100 hogares pertenecientes a la comitativa de agua que postularon y gestionaron la ejecución del proyecto.

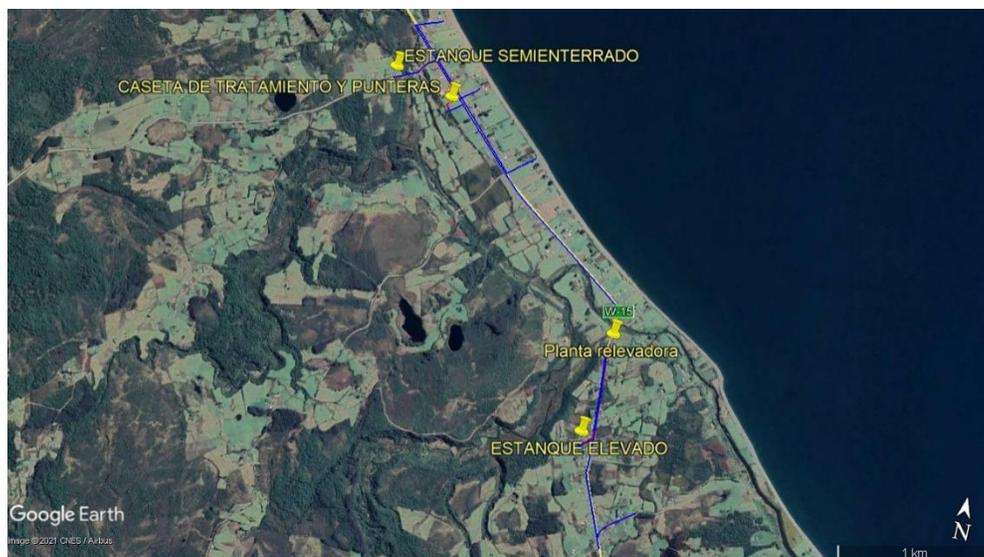


Figura 31. Imagen satelital. Sistema de Agua Potable Rural y red de distribución para los sectores de Lliuco y Aucho - Frontera. Fuente: Dirección de Obras Hidráulicas.

Para la zona sur (Figura 32), el sector de Quicaví presenta un aprovisionamiento mediante una captación superficial; la gestión de calidad consiste en un tratamiento mediante cloración de las aguas capturadas. La red de distribución se encarga de llevar agua para uso potable a 80 familias. Sin embargo, no cubre todo el sector, para Quicaví pasaje 1 se registra una comitiva con una fuente de aprovisionamiento distinta, además, se denotan sistemas de aprovisionamiento domiciliarios individuales a lo largo del sector (sistema de captación de aguas lluvias).

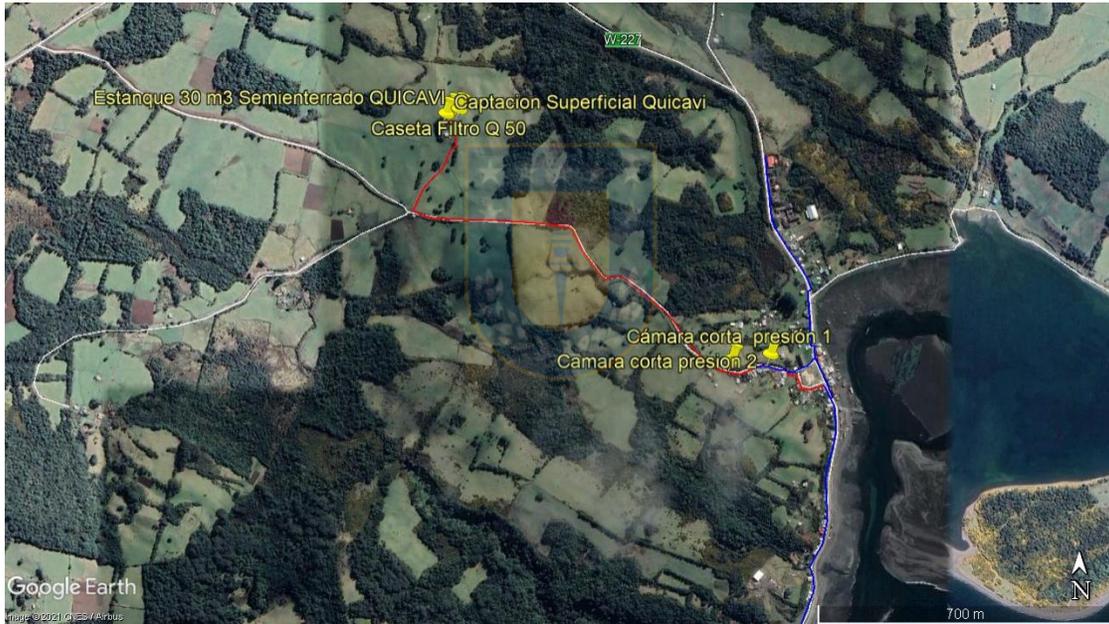


Figura 32. Imagen satelital. Sistema de Agua Potable Rural y red de distribución para el sector de Quicaví. Fuente: Dirección de Obras Hidráulicas.

La zona insular (Figura 33), referida a la isla de Añihue, presenta un aprovisionamiento mediante un pozo profundo como fuente natural cuyo único tratamiento es la cloración. La red de distribución cubre el total de hogares en la isla, la fuente de abastecimiento es común para todas las familias a nivel insular.



Figura 33. Imagen satelital. Sistema de Agua Potable Rural y red de distribución para la isla Añihue. Fuente: Dirección de Obras Hidráulicas.

En la isla Mechuque se registra un sistema de Agua Potable Rural cuya fuente natural de origen es una vertiente (Figura 34). La red de distribución lleva agua para uso potable a 23 familias en el sector de Villa Mechuque. La gestión de calidad cuenta con un tratamiento de cloración que se aplica a las aguas capturadas. El abastecimiento de agua en esta isla es parcial; es decir, las familias de villa Mechuque conectadas al sistema reciben el recurso hídrico continuo durante el año; sin embargo, los sectores de Nueva Villa, Papalguen y La Vega (Figura 35) no cuentan con un sistema consolidado de aprovisionamiento humano.



Figura 34. Imagen satelital. Sistema de Agua Potable Rural y red de distribución en la isla Añihue. Fuente: Dirección de Obras Hidráulicas.



Figura 35. Imagen satelital. Brecha hídrica en el sistema de gestión entre Villa Mechuque con los sectores aledaños; Nueva Villa (Rojo), Papalguen (Verde), La Vega (Anaranjado). Fuente: Elaboración propia

Para la Isla Caucahué se denota el proyecto de pozo profundo (Figura 36) cuya red de distribución debería suministrar de agua para uso potable a todos los habitantes en Queler, Morro Lobos y Quinterquén. A la fecha, el proyecto ejecutado con fondos de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE) lleva un desarrollo del 65% en su fase de construcción sin tener el diseño de la red de distribución para su elaboración. Se denotan sistemas domiciliarios individuales de gestión para abastecimiento de agua.



Figura 36. Obras y equipo de desarrollo para la ejecución del pozo profundo en la Isla Caucahué.

6.3.2. Conectividad hídrica en la comuna de Quemchi

Utilizando los datos recogidos del objetivo general, se desarrolla la construcción de un índice de conectividad hídrica para las zonas de estudio [RCH] (Figura 37). Se construye a partir de la razón entre las viviendas conectadas a un sistema APR y el total de familias que formaron parte de la muestra para cada zona.

La zona rural que presenta el índice más bajo de conectividad es la zona norte con un 38.3% de familias conectadas a un sistema APR, luego sigue la zona sur con el 46.3% de conectividad y finalmente la zona insular presenta el índice más alto con un 78%. Sin embargo, considerando el catastro realizado se señala la baja representatividad de este último puesto que no se pudo levantar información en todos los territorios insulares. El catastro no contempla la totalidad de hogares en Caucahué o en las Islas Butachauques.

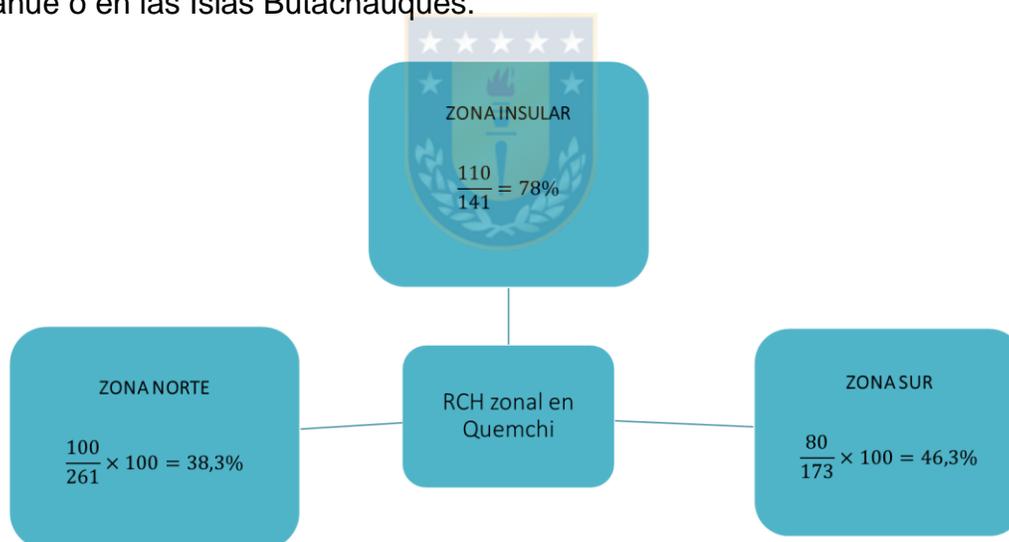


Figura 37. Índices de conectividad hídrica asociados a un sistema de gestión registrado en las zonas rurales de Quemchi.

6.4 Matriz de ordenamiento DPSIR y trabajo de comisión de expertos

Describir el problema, abordar las aristas y elaborar medidas de gestión es un trabajo de análisis trascendental para planificar acciones y soluciones a dicho

problema. A continuación, se entrega el esquema de trabajo DPSIR que se desarrolla por medio de una comisión de expertos, equipo de trabajo que lo integran funcionarios de la Ilustre Municipalidad de Quemchi en conjunto con el encargado de trabajo de investigación.

Para desplegar los resultados, se adjuntan los hitos de la matriz en un formato de tabla para enumerar y describir la información recogida para cada hito.

Las fuerzas de acción (Tabla 1) contemplan aristas como el rol de la institución con la comunidad, gestión por parte de comitivas de agua y actividades productivas. A continuación, se presenta una tabla descriptiva para las fuerzas de acción.

Tabla 1. Fuerzas de acción en matriz de ordenamiento DPSIR.

FUERZAS DE ACCIÓN
<ul style="list-style-type: none">• Municipalidad carece de una línea de base hídrica para elaborar medidas de gestión a nivel comunal.• Administración hídrica sectorial, fuerte influencia de las juntas de vecinos como entidad de gestión.• Brecha de comunicación entre organización locales con organismos gubernamentales con competencia hídrica (DGA, DOH).• Uso de suelo destinado a actividades productivas (extracción de pompón).

Las acciones o presiones (Tabla 2) ejercidas por las fuerzas de acción descritas contemplan calidad de infraestructura, comportamiento pluviométrico, demografía y control productivo sobre recursos de explotación. A continuación, se entrega una tabla que describe las presiones de estudio.

Tabla 2. Presiones o acciones en matriz de ordenamiento DPSIR.

PRESIONES
<ul style="list-style-type: none">• Precaria infraestructura para distribución del recurso en zonas rurales y falta de un sistema de alcantarillado para la zona urbana.• Baja en las precipitaciones en temporada de estiaje, no se dispone con un equipo de emergencia sólido para cubrir la demanda (aljibes).• Crecimiento poblacional, aumenta la demanda por el recurso hídrico.• Nula regulación a la explotación del pompón en la comuna.

El estado del recurso (Tabla 3) representa la línea de base objetivo la cual puede ser potencialmente afectada por las presiones descritas (Tabla 2). La descripción del estado del recurso contempla fuentes naturales, ecosistemas de interés y legislación ambiental. A continuación, se entrega una tabla que describe el estado del recurso en Quemchi.

Tabla 3. Estado del recurso en matriz de ordenamiento DPSIR.

ESTADO DEL RECURSO
<ul style="list-style-type: none">• No se cuenta con una caracterización del recurso freático para aprovisionamiento humano.• Captaciones superficiales como denominador común tanto en la isla grande como en el sector insular.• 16 humedales costeros registrados en la comuna de Quemchi.• Derechos de agua para uso potable registrados por la municipalidad solo para la zona urbana.

Los impactos potenciales sobre el recurso hídrico para uso potable representan un riesgo al bienestar social y ambiental. La descripción de impactos (Tabla 4) contempla calidad de agua, estado del recurso en zonas rurales, comportamiento en niveles de abastecimiento y ciclo hidrológico del suelo. A continuación, se

entrega una tabla que contiene los potenciales impactos al recurso hídrico en la comuna de Quemchi.

Tabla 4. Impactos en matriz de ordenamiento DPSIR.

IMPACTOS
<ul style="list-style-type: none">• Problemas de calidad asociados al tratamiento de agua, potencial peligro para la salud de la población.• Vulnerabilidad hídrica en los sectores rurales en temporada de estiaje.• La demanda excede los sistemas de oferta, tanto para el sector rural como el sector urbano.• Interrupción en los períodos de recambio hídrico en el subsuelo, aumenta cada vez más la cota de agua en pozos subterráneos.

Las políticas hídricas (Tabla 5) se construyeron a partir del diagnóstico realizado en todos los hitos anteriores, a través de un enfoque específico a las condiciones del área de estudio las respuestas a la problemática hídrica en Quemchi contemplan canales de comunicación y gestión, reasignaciones de roles participativos a la institución y comunidad, revisión de la legislación actual sobre el consumo de agua y medidas de protección a ecosistemas de relevancia hídrica y ambiental. A continuación, se despliega la tabla de políticas hídricas elaboradas por la comisión de expertos focalizadas al problema hídrico en la comuna de Quemchi.

Tabla 5. Políticas hídricas en matriz de ordenamiento DPSIR.

POLÍTICAS HÍDRICAS
<ul style="list-style-type: none">• Favorecer desde la municipalidad los proyectos APR con organismos como la Dirección de Obras Hidráulicas y la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo.• Establecer mesas de agua desde la comunidad con la institucionalidad con el fin de monitorear durante el año el estado del recurso hídrico en toda la comuna.

- Regularizar los caudales de agua para consumo potable para toda la comuna mediante los derechos de aprovechamiento de agua.
 - Protección a los cuerpos de agua, estudio de humedales costeros y humedales continentales (Ejecución de Ley de humedales urbanos como herramienta de gestión).
-

6.5 Propuestas de gestión hídrica para la comuna de Quemchi

6.5.1 Ordenamiento territorial y asignación de vulnerabilidad en sectores rurales

La gestión del recurso hídrico para consumo potable debe seguir un orden territorial que no solo contemple acciones con enfoque en fuentes naturales para aprovisionamiento humano, sino que sea focalizada a los sectores con más problemas asociados al agua para consumo potable. Para ello de acuerdo al trabajo realizado en la comisión de expertos, se recogen las políticas hídricas establecidas (Tabla 5) y en conjunto con los datos obtenidos en la encuesta de sostenibilidad hídrica se determinan criterios de seguimiento a sectores en particular. Estos criterios surgen a partir de la tipología de preguntas relacionadas a la encuesta de trabajo (Anexo 4). A continuación, se entrega una tabla resumen que describe los criterios de vulnerabilidad hídrica para la población rural en la comuna de Quemchi.

Tabla 6. Criterios de vulnerabilidad hídrica.

CRITERIOS DE TRABAJO PARA ORDENAMIENTO TERRITORIAL
<ul style="list-style-type: none"> • Período crítico en bajas de caudales o volúmenes de aprovisionamiento en una escala temporal de meses. • Hogares que no dispongan de un tratamiento de calidad asociado al recurso para uso potable. • Pérdida de continuidad de caudales o volúmenes de aprovisionamiento del recurso para uso potable.

De acuerdo a los criterios de vulnerabilidad (Tabla 6), se entregan a continuación los sectores que presentan la condición de acuerdo a la muestra de la encuesta.

Tabla 7. Sectores vulnerables en las zonas rurales en Quemchi.

ZONA NORTE	ZONA SUR	ZONA INSULAR
Tubildad: 23 familias	Chaurahue sur: 15 familias	Queler
Montaña	Chaurahue: 10 familias	Morro Lobos
	Choen: 15 familias	Quinterquén
	Montemar alto: 9 familias	
	Montemar: 17 familias	

Para efectos de cartografía, se entrega un catastro de viviendas asociadas a las localidades identificadas en (Tabla 7), sin embargo, acuerdo al trabajo realizado en la comisión de expertos las presiones ejercidas (Tabla 2) sobre el estado base del recurso (Tabla 3) afectan a un número de hogares mayor al tamaño de muestra de las encuestas. Es por esto que se realiza un trabajo de geoprocesamiento para la totalidad de las viviendas en las localidades identificadas según los criterios estipulados (Tabla 6). Las propuestas de gestión para un ordenamiento territorial con enfoque en gestión integrada del recurso hídrico son las siguientes.

Tabla 8. Propuestas de gestión de acuerdo a localidades identificadas con vulnerabilidad.

PROPUESTAS DE GESTIÓN
<ul style="list-style-type: none"> • Mesas de agua zonales en sectores rurales. • Regularizar infraestructura para abastecimiento y tratamiento del recurso. • Fortalecer herramientas de emergencia para temporada de estiaje.

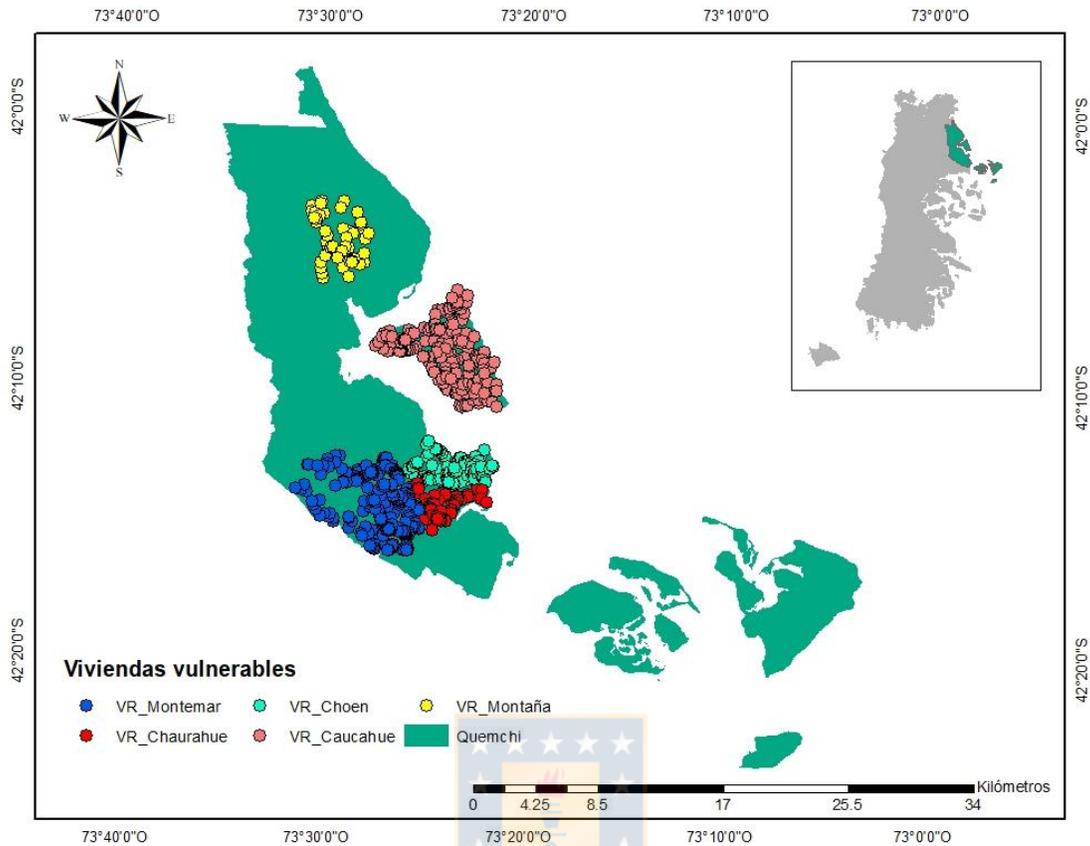


Figura 38. Viviendas rurales denotadas con la condición de vulnerabilidad hídrica en la comuna de Quemchi.

6.5.2 Humedales reconocidos por la comunidad en Quemchi

Los humedales constituyen uno de los ecosistemas de relevancia hídrica y ambiental en Chiloé más importantes, se propone una unidad territorial de gestión a nivel de cuenca hidrográfica como marco de análisis para futuras acciones correctivas. A continuación, se entrega una tabla resumen con las subsubcuencas que enmarcan los humedales reconocidos por la comunidad en Quemchi.

Tabla 9. Subsubcuencas hidrográficas y humedales objetivo.

SUBSUBCUENCA	HUMEDALES OBJETIVO
Quetrelquen-San Juan	Hüite, Hüite 2, Tubildad, Pinquen, Bahía Quemchi, Millalonco, Colo, Aucho, Aucar
Isla Queler	Punta Pescueso
Isla Butachauques	Nayahue, Metahue

La participación ciudadana en el marco de conservación de humedales es una de las acciones correctivas enmarcadas en las políticas hídricas realizadas en la comisión de expertos (Tabla 5), sumado a esto se proponen las siguientes medidas de gestión con la población como actor principal.

Tabla 10. Propuestas de gestión de humedales con la población en Quemchi.

PROPUESTAS DE GESTIÓN
<ul style="list-style-type: none">• Talleres de educación ambiental en todos los niveles.• Asignar un valor paisajístico a humedales, oficina de turismo de la Ilustre Municipalidad de Quemchi como entidad de planificación y Juntas de Vecinos como organización de operación.• Operativos de limpieza, designación de equipos de trabajo en humedales a las localidades aledañas, oficina de medio ambiente de la Ilustre Municipalidad de Quemchi como entidad de planificación.

En las competencias de la institución del Estado y sus instrumentos de gestión ambiental, se propone la ejecución de la Ley 21202 que modifica diversos cuerpos legales con el objetivo de proteger los humedales urbanos, sin embargo, esta medida de gestión solo refiere a aquellos humedales que presenten toda o una parte de su superficie dentro de los límites urbanos establecidos para la comuna; los humedales que cumplen con esta condición son:

1. Humedal Pinquen
2. Humedal Bahía Quemchi
3. Humedal Millalonco

Para humedales emplazados en zonas rurales (Tabla 9), el Estado no presenta un instrumento de gestión ambiental que permita monitorear el bienestar ecosistémico; parámetros como capacidad de retención de agua o biodiversidad no tienen un marco legislativo. Las propuestas de gestión a un nivel institucional y técnico son las siguientes.

Tabla 11. Propuestas de gestión con un enfoque institucional y técnico.

PROPUESTAS DE GESTIÓN
<ul style="list-style-type: none"> • Gestión Integrada de Cuencas como esquema de trabajo para evaluación de futuras actividades productivas con potencial impacto en humedales. • Tramitación y entrada en vigencia del Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas. • Promover estudios que sirvan como línea de base para evaluar el bienestar y los servicios ecosistémicos de los humedales en la comuna de Quemchi.

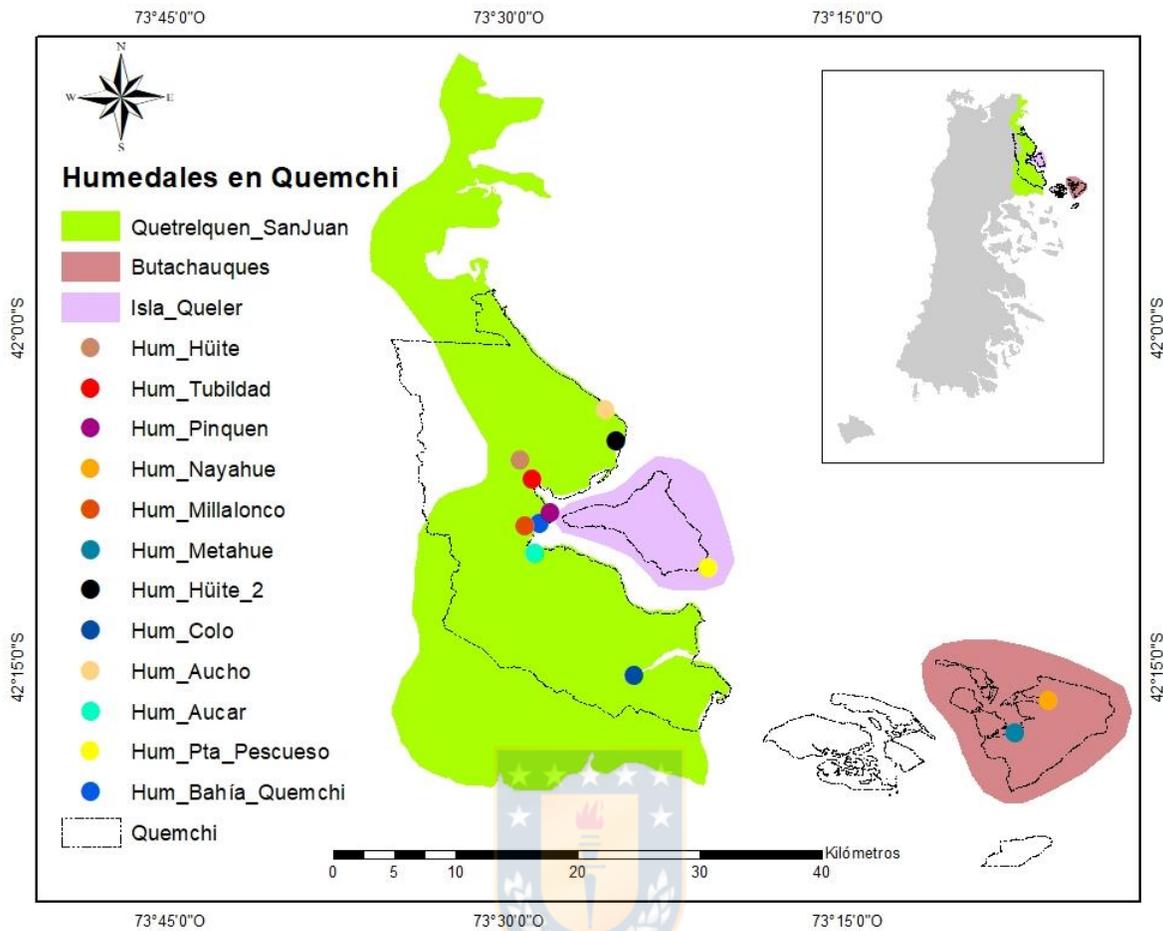


Figura 39. Humedales de relevancia social y cultural en la comuna de Quemchi.

6.5.3 Catastro de turberas con enfoque en Gestión Integrada de Recursos Hídricos

De acuerdo al trabajo realizado en terreno, la extracción de *S. magellanicum* en las turberas de Quemchi no cuenta con un registro o monitoreo tanto a un nivel de institución gubernamental central (Oficina de Políticas Agrarias del Ministerio de Agricultura) o un nivel de la institución local (Ilustre Municipalidad de Quemchi). Esta actividad productiva tiene el potencial de generar impactos en el ecosistema de turbera puesto que el pompón se caracteriza por su gran capacidad de retención de agua y la remoción de turba altera las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo para regular el ciclo hidrológico en este ecosistema.

A continuación, se recogen las superficies de influencia de los ecosistemas de turberas para las unidades de gestión de subsubcuencas en la comuna de Quemchi.

Tabla 12. Superficies registradas para turberas en unidades de gestión de cuencas hidrográficas.

SUBSUBCUENCAS OBJETIVO	HECTÁREAS DE INTERÉS
Isla Queler	69,6
Quetrelquen-San Juan	500,3
Quetrelquen-Río Chepu	169

De acuerdo a la distribución de turberas en las subsubcuencas objetivo, se proponen medidas de gestión (Tabla 13) obedeciendo al ordenamiento territorial de vulnerabilidad en localidades rurales informado en objetivos anteriores (Tabla 7).

Tabla 13. Propuestas de gestión para el manejo de turberas en Quemchi.

SUBCUENCAS OBJETIVO	PROPUESTAS DE TURBERAS
Isla Queler	<ul style="list-style-type: none"> i. Catastro de turberas para sectores de Queler, Morrolobos y Quinterquén ii. Turberas en altura como cuerpos objetivo para aprovisionamiento humano iii. Prohibición de extracción pompón como actividad productiva
Quetrelquen-San Juan	<ul style="list-style-type: none"> i. Catastro de turberas e inventario de gestión en las zonas norte, urbana y sur de Quemchi

Quetrelquen-Río Chepu

- ii. Regularización y fiscalización de extracción de pompón como actividad productiva
 - iii. Identificar turberas con potencial paisajístico
 - i. Acciones correctivas en conjunto con la comuna de Ancud, identificar servicios ecosistémicos a un nivel territorial de subsubcuencas y administración en conjunto con la comunidad
-

Una medida de gestión transversal para las subsubcuencas objetivo, a un nivel institucional estatal, es la tramitación y entrada en vigencia del Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas, las competencias que emanen de este organismo en conjunto con estudios con enfoque en Soluciones Basadas en la Naturaleza pueden ayudar a restaurar y conservar el bienestar del ecosistema de turberas a un nivel territorial de subsubcuenca hidrográfica.

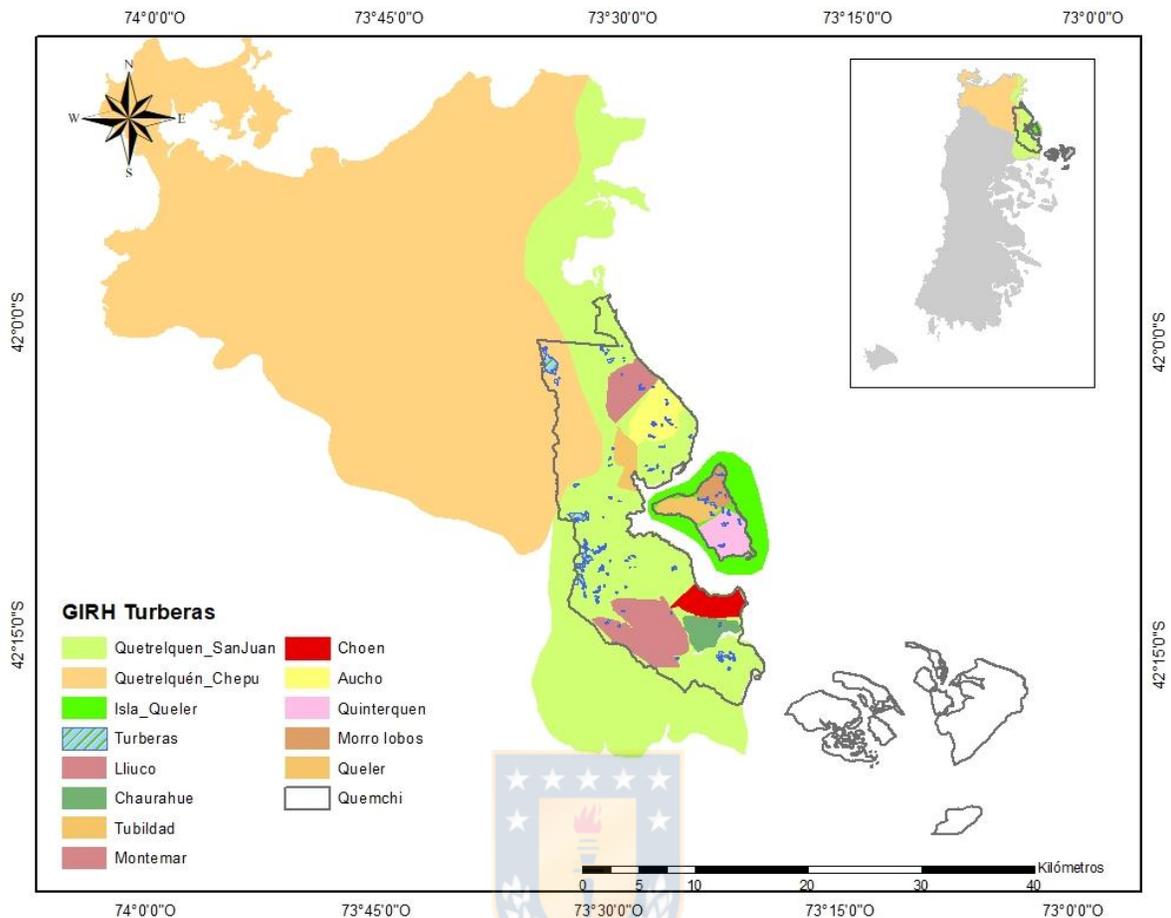


Figura 40. Turberas de interés de protección y gestión integrada en Quemchi.

6.5.4 Catastro de cuerpos de agua dulce con enfoque en Gestión Integrada de Recursos Hídricos

En conjunto con las turberas, los sistemas de agua loticos y lenticos en Quemchi se transforman en potenciales fuentes naturales para aprovisionamiento humano. Para cuerpos de agua loticos (ríos) se proponen las siguientes medidas de gestión.

Tabla 14. Propuestas de gestión para los ríos en la comuna de Quemchi.

PROPUESTAS DE GESTIÓN
<ul style="list-style-type: none">• A escala de subsubcuenca, identificar cauces principales, evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos y con esto establecer un caudal ecológico sostenible en el tiempo.• Fiscalizar el estado de la captación superficial para el sistema de Agua Potable Rural en Mechuque y Lliuco-Aucho Frontera.• Evaluar capacidad de aprovisionamiento de ríos para consumo humano en la subsubcuenca de Quetrelquen-San Juan.

A un nivel institucional, las Normas Secundarias de Calidad Ambiental como instrumento de gestión ambiental son un recurso que se recomienda implementar a una escala de cuenca hidrográfica, con esto elaborar un plan de prevención específico para la subsubcuenca Quetrelquen-San Juan.

En cuanto a la superficie de ríos comprendida para la subsubcuenca de Quetrelquen-Río Chepu, la comunicación político-administrativa con la comuna de Ancud es relevante para la ejecución de medidas de gestión, es decir, garantizar la provisión de servicios ecosistémicos para Quetrelquen-San Juan y Quetrelquen-Río Chepu resulta en un bienestar hídrico que permita hacer un uso sostenible de los cuerpos de agua para consumo potable en todo el territorio.

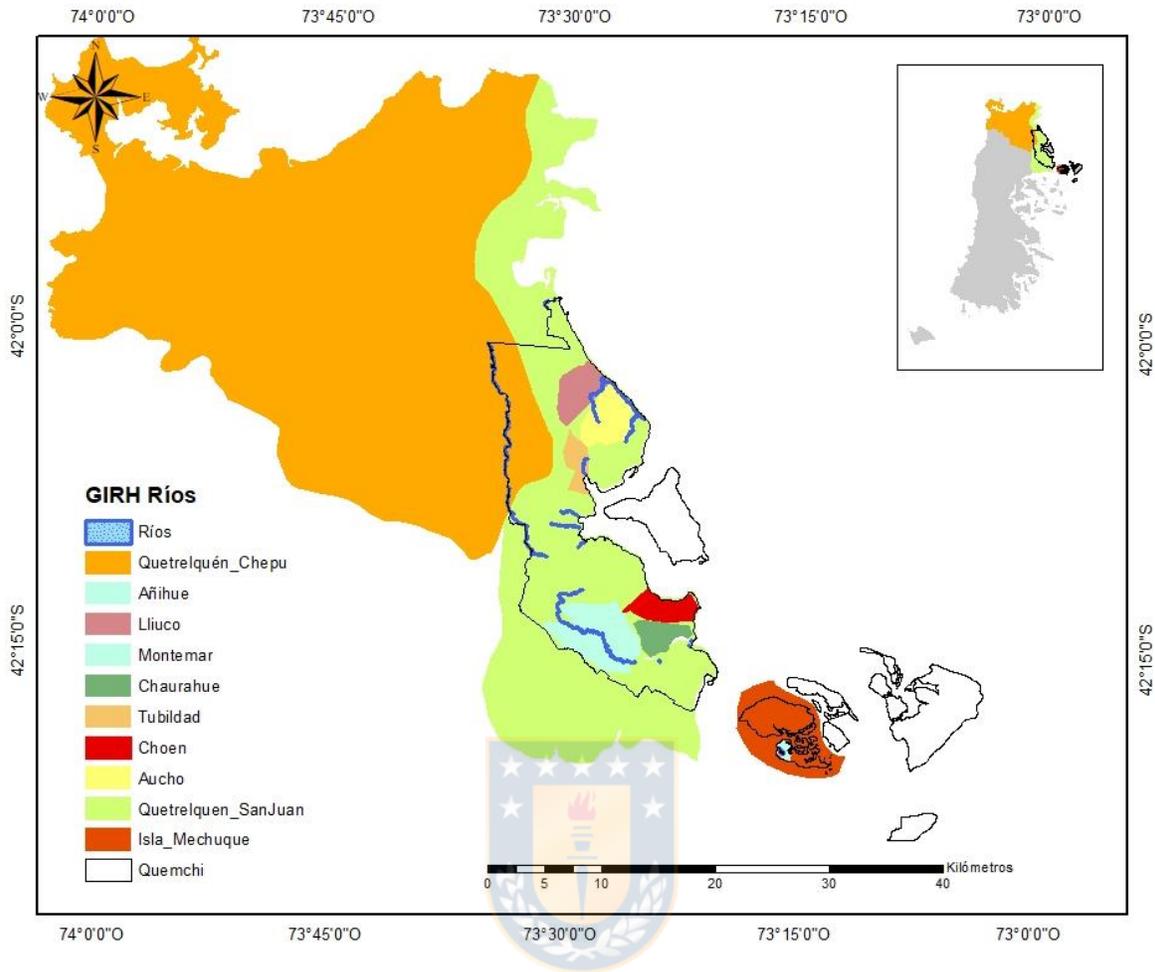


Figura 41. Cuerpos de agua loticos en la comuna de Quemchi.

Los cuerpos de agua lacustres se componen de lagos y lagunas; gran parte de los problemas asociados a indicadores de calidad (Figuras 13, 20, 27) son de lagos y lagunas en las zonas rurales de la comuna de Quemchi. Considerando lo expuesto se adjuntan propuestas de gestión para sistemas de agua lenticos en el área de estudio

Tabla 15. Propuestas de gestión para lagos y lagunas en la comuna de Quemchi.

PROPUESTAS DE GESTIÓN
<ul style="list-style-type: none"> • Monitorear parámetros físicos, químicos y biológicos en cuerpos lacustres (Nitrógeno, Fósforo, DBO, transparencia, etc.). • Asignar un valor paisajístico y turístico a cuerpos lacustres en zonas rurales.

- Establecer un esquema de trabajo integrativo y a nivel de cuenca hidrográfica para la Laguna Popetan, ubicada en la zona sur del área de estudio.

La gestión de cuerpos lacustres a una escala de cuenca hidrográfica focaliza las acciones correctivas en la subsubcuenca Quetrelquen-San Juan (Tabla 15), sin embargo, en la subsubcuenca de isla Chenia se denota un lago de 8 hectáreas de lago. Al ser una zona más aislada ubicada en las islas circundantes al este de la comuna requiere la elaboración de una línea de base para caracterizar este cuerpo de agua, todo esto en orden de clasificar potenciales fuentes naturales de aprovisionamiento humano en sectores rurales. A continuación, se despliega las superficies de interés para cuerpos lacustres en las subsubcuencas objetivo.

Tabla 16. Superficies de interés para cuerpos lacustres en subsubcuencas de interés.

SUBSUBCUENCAS	HECTAREAS DE INTERÉS
Isla Chenia	8
Quetrelquen-San Juan	54

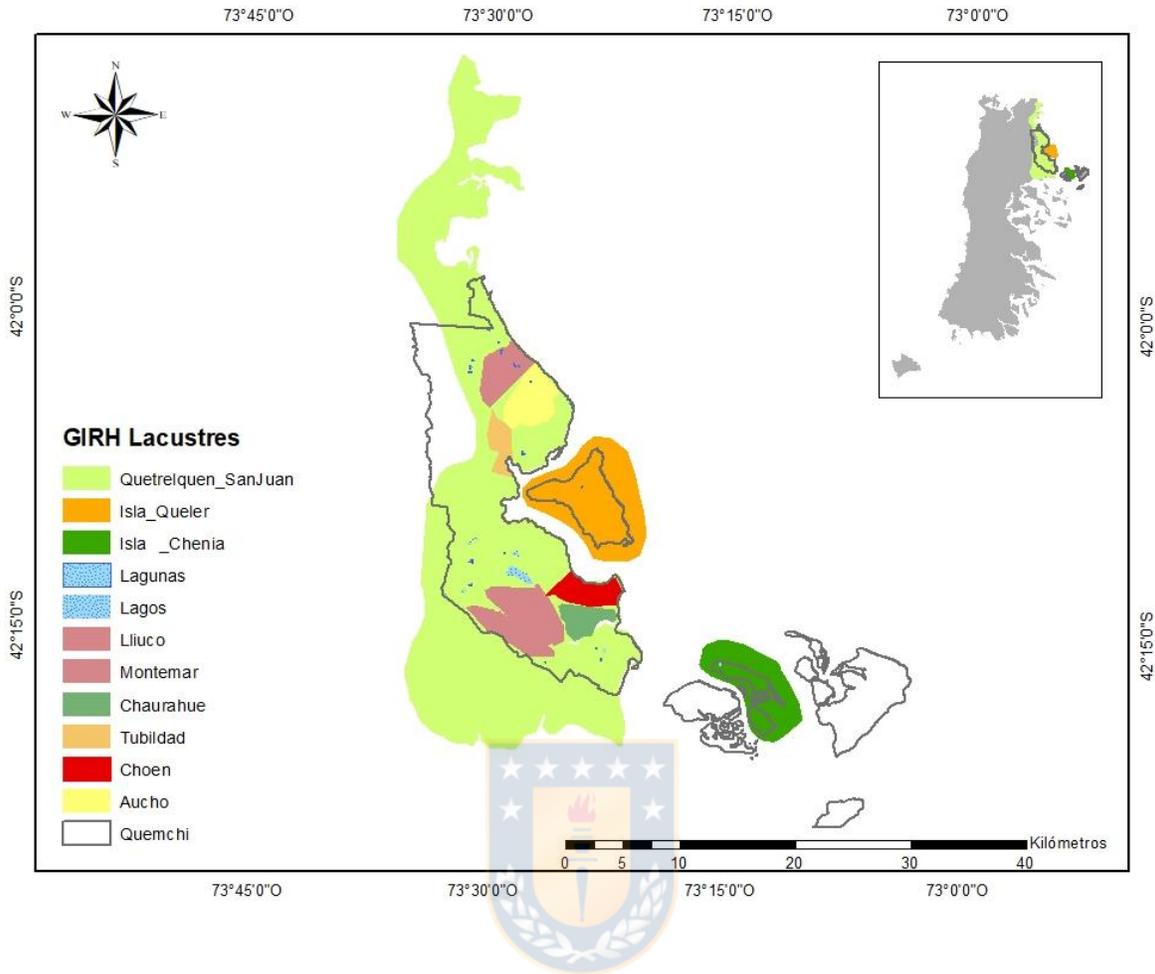


Figura 42. Cuerpos de agua lenticos en la comuna de Quemchi.

6.5.5 Recomendaciones de gestión de acuerdo a la realidad hídrica en Quemchi

Los parámetros de calidad y saneamiento estipulados en la ley 20998 del Ministerio de Obras Públicas que regula los servicios sanitarios rurales deben ser homogéneos en todo el territorio nacional. La Secretaría de Planificación Comunal, entidad con responsabilidad extendida de los proyectos de Agua Potable Rural en la comuna debe estar al tanto que dichas condiciones estipuladas en la ley se cumplan. Se propone la organización de mesas de agua entabladas por las comitativas de agua rurales para llevar en tiempo real las condiciones sanitarias de los caudales de

aprovisionamiento extraídos desde las fuentes naturales caracterizadas y pertinentes a cada sector.

Según lo estipulado en (PLADECO, 2015) en la zona urbana se tiene el proyecto de alcantarillado y planta de aguas servidas en un plazo de inicio del 2015 y ejecución de la obra para el año 2017; a la fecha ambas herramientas de gestión hídrica no se encuentran en fase de operación. La sustentabilidad hídrica no solo considera continuidad en el abastecimiento; son necesarios estándares de calidad para asegurar el bienestar de la comunidad. Por su parte, la planta de agua potable que suministra el recurso a los hogares debe actualizar sus operaciones unitarias en la línea de proceso de distribución a los hogares y cumplir los criterios establecidos en la ley 20038 del Ministerio de Obras Públicas en competencia de licitación de servicios sanitarios dentro del límite urbano.

El Plan de Desarrollo Comunal en Quemchi no contempla la administración de agua para uso potable desde una mirada de Gestión Integrada de Cuencas; el territorio sigue un manejo político-administrativo con una fuerte influencia sectorial por parte de la comunidad, lo que demuestra la baja eficacia en políticas hídricas elaboradas por el Estado y la inexistencia de instrumentos de gestión ambiental que sirvan para elaborar medidas de gestión focalizadas y efectivas en la comuna de Quemchi.

Para la planificación de las acciones correctivas propuestas en el trabajo de investigación es trascendental agrupar estas medidas gestión en una escala temporal para una ejecución efectiva (Tabla 17) se presenta a continuación los hitos de trabajo a realizar en un corto, mediano y largo plazo.

Tabla 17. Acciones correctivas clasificadas en un tiempo de ejecución

PROPUESTAS DE GESTIÓN EN LA COMUNA DE QUEMCHI	
Corto plazo	<p>Fortalecer herramientas de emergencia para temporada de estiaje (distribución y trazabilidad de camiones aljibe)</p> <p>Fiscalizar los sistemas de Agua Potable Rural y regularizar el abastecimiento de fuentes naturales en zonas rurales</p> <p>Mesas de agua integrativas con la comunidad como actor principal</p>
Mediano plazo	<p>Inversión en herramientas de gestión municipales (barcaza exclusiva para la gestión hídrica en zonas insulares)</p> <p>Promover estudios que describan, caractericen y evalúen el estado de los ecosistemas acuáticos continentales</p>
Largo plazo	<p>Establecer un esquema de trabajo a través de la Gestión Integrada de Cuencas apoyado con una gobernanza estatal definida y focalizada</p>

7. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran una fuerte relación entre los sistemas de gestión de Agua Potable Rural (APR) y el aprovisionamiento de calidad y continuo en el tiempo. Los sectores más vulnerables son aquellos que carecen de una infraestructura de captación para agua de uso potable y en temporada de estiaje dependen de medidas de emergencia como los camiones aljibes; temporada de escasez que varía en las zonas rurales. En la zona sur, Montemar presenta una baja en el recurso durante semanas, principalmente en los meses de enero y febrero mientras que en la zona insular la isla de Caucahué presenta las primeras interrupciones de caudal o volúmenes para aprovisionamiento en el mes de noviembre, dependiendo exclusivamente de los camiones aljibes para consumo potable del recurso; medida de emergencia de baja fiabilidad que se intensifica al pertenecer a una subsubcuenca insular. Para el verano 2020 la flota de camiones aljibes en Quemchi pasó de ser de 8 unidades a sólo 2, los cuales abastecen a las zonas rurales aledañas y a la isla Caucahué. Esto presenta un potencial riesgo de abastecimiento ya que la logística para distribuir el recurso hídrico no es exclusiva para las localidades en la isla grande sino para toda la comuna, además, el recurso de transporte que presenta la barcaza municipal gestiona no sólo los aljibes, sino que también reúne los residuos domiciliarios en las islas circundantes. Para la zona norte, la localidad de Montaña no cuenta con tratamiento de calidad asociado a las fuentes naturales, sistemas lacustres principalmente lo cual obedece a las acciones correctivas propuestas en el estudio (Tabla 15); mientras que, en la zona sur las familias que no están conectadas a un Sistema de Agua Potable Rural y gestionan su propio abastecimiento usando herramientas, como los sistemas de captación de aguas lluvias, durante la temporada de estiaje se ven forzados a extraer agua desde fuentes naturales sin un tratamiento de calidad óptimo, esto se corrobora con el catastro de tratamientos aplicados al recurso en la zona sur (Figura 19); a esto se le suman los sectores de Choen y Chaurahue Sur cuyas fuentes naturales de aprovisionamiento se ven disminuidas al punto que deben recurrir al aprovisionamiento por aljibes.

El test de Mann Kendall fue la herramienta de análisis que permitió evaluar el comportamiento pluviométrico en la comuna de Quemchi. El valor de este test se compara con un nivel de significancia específico, determinado a priori por el usuario (Richetti, 2018). El resultado en los análisis de tendencia para el comportamiento de las precipitaciones en el período de estudio 2000-2019 no es significativo para todas las estaciones, mientras que en verano, estación que si arrojo parámetros de interés indica una tendencia significativa leve con un marcado comportamiento decreciente, lo cual indica un potencial estresor hídrico en la comuna de Quemchi generando una nueva arista al problema de vulnerabilidad hídrica, es decir, no sólo se cuenta con una precaria infraestructura de aprovisionamiento sino que también el factor de las precipitaciones debe ser un motivo de estudio. En cuanto a la base de datos pluviométricos en la comuna, se remarca la importancia de implementar una red de monitoreo que permita exponer con mayor certidumbre las precipitaciones en una escala temporal representativa, en su estudio (Stehr et al., 2019) exponen la debilidad en esta herramienta de gestión ya que en Chile se puede encontrar una estación de precipitaciones cada 818 km².

La caracterización de los cuerpos de agua dulce en la comuna de Quemchi es trascendental para la óptima gestión del recurso, el análisis realizado para las propuestas elaboradas tuvo como línea de base recursos de CONAF del año 2013, es decir, a la actualidad han transcurrido ya 8 años desde el levantamiento de información por parte de la institución y las condiciones de los cuerpos de agua no son las mismas. En materia de Gestión Integrada de Cuencas, para concretar las propuestas de trabajo y gestionar con éxito los ecosistemas descritos debe existir concordancia con la realidad. Con el objetivo de distribuir el recurso disponible a un uso potable sustentable en el tiempo, en trabajo de terreno, se observó para el sector de Tubildad un aprovisionamiento continuo por vertientes que tienen su origen en un humedal en altura, fuente que beneficia a 10 grupos familiares. La hipótesis de abastecimiento por cuerpos de agua en altura toma fuerza ya que el panorama hídrico en los sectores rurales a baja altura es mucho mejor en contraste con las localidades situadas a una altitud mayor.

Un marco integrativo que reúne infraestructura, ecosistemas acuáticos de agua dulce y subsubcuencas hidrográficas (Figura 43) sirve de pauta para la planificación de instrumentos de gestión ambiental que permitan un aprovisionamiento humano sustentable.

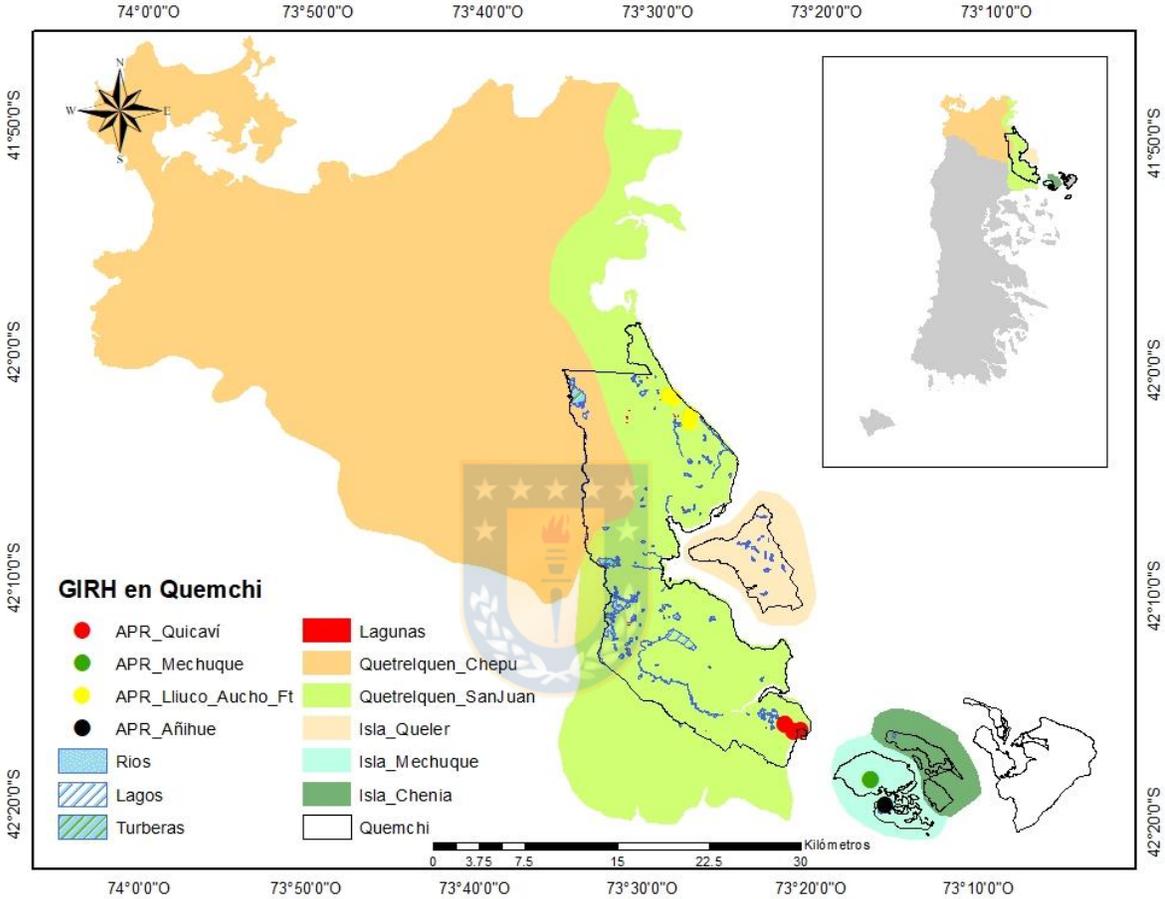


Figura 43. Cartografía integrativa de factores de gestión en la comuna de Quemchi.

8. CONCLUSIÓN

El presente estudio plasmó desde un punto de vista técnico, ambiental y social la realidad hídrica de la comuna de Quemchi y como la vulnerabilidad del recurso se presenta en la actualidad. Tanto el diagnóstico del estado del recurso como las acciones correctivas propuestas siguen un orden piramidal, desde un análisis zonal que recopila la realidad de la administración del recurso hasta la asignación de vulnerabilidad a sectores específicos.

Tanto el comportamiento pluviométrico como el manejo del recurso en infraestructura ejercen presión en el estado de vulnerabilidad hídrica para uso potable en la comuna de Quemchi, es decir, las acciones correctivas con enfoque en Gestión Integrada de Cuencas o Soluciones Basadas en la Naturaleza mediante conservación de turberas no omite el hecho del creciente impacto de la temporada de estiaje las últimas dos décadas producto de la tendencia a la baja de las precipitaciones. Para futuras acciones debe considerarse este factor, para que esté dentro del marco de trabajo y no se convierta en una variable más.

Establecer los canales de comunicación y designar los roles de quienes serán los actores principales en el marco de trabajo es esencial para obtener resultados positivos en manejo de agua para consumo humano. La cooperación entre la comunidad, la asistencia de la autoridad local, los fondos y herramientas provistas por la institución de competencia son el triángulo equilátero necesario no sólo en el área de estudio, sino en todo el territorio nacional para la gestión sustentable del recurso hídrico.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.I. McLeod. (2011). Kendall: Kendall rank correlation and Mann-Kendall trend test. R package version 2.2. <https://CRAN.R-project.org/package=Kendall>

Alvial, A., Kibenge, K., Forster, J., Burgos, J., Ibarra, R. y St-Hilaire, S. (2012). The Recovery of the Chilean Salmon Industry. The ISA crisis and its consequences and lessons. Extraído el 12 de febrero de 2015 desde http://www.gaalliance.org/cmsAdmin/uploads/GAA_ISA-Report.pdf

Balvanera, P. Cloter, H. (2009). Estado y tendencia de servicios ecosistémicos, 206p.

Banco Mundial. Chile: Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. (2011). En línea: <http://water.worldbank.org/node/83999>. Fecha de consulta 7 de diciembre de 2013.

Beas, N. (2018). Efectos del cambio de uso de suelo y drenaje de un suelo Ñadi sobre las propiedades biológicas y emisiones de gases de efecto invernadero, 1p.

Bravo, J. (2004). La cultura Chilota y su expresión territorial en el contexto de la globalización de la economía, 49p.

Castro, M. (1992). Cultura Hídrica: Un caso en Chile, 26p.

Corporación Nacional Forestal (CONAF) (Chile). Universidad Austral de Chile (UACH) Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales. (2013). Informe Final de Monitoreo de cambios, corrección cartográfica y actualización del catastro de recursos vegetacionales Nativos de la Región de Los Lagos.

Chan, T. (2020). Climate adaptation for rural water and sanitation systems in the Solomon Islands: A community scale systems model for decision support. *Science of the Total Environment*, 13.

Del Pilar, B. (2010). Detección y análisis del cambio de uso del suelo en la zona centro - norte de la provincia de Capitán Prat, XI Región período 1984-2003, 19p.

Delgado, L. De Ríos, R. Perevochtchikova, M. Marín, I. Fuster, R. Marín, V. (2021). Water governance in rural communities of Chiloe Island, southern Chile: A multi-level analysis

Delgado, L. E., Sepúlveda, M. B., & Marín, V. H. (2013). Provision of ecosystem services by the Aysén watershed, Chilean Patagonia, to rural households. *Ecosystem Services*, 5, 102-109.

Dirección General de Aguas. (2019). Base de datos de derecho de aprovechamiento de aguas.

Dirección General de Aguas (DGA). (2016). Atlas del Agua.

Dye, T. R. (1992). Understanding public policy [by] Thomas R. Dye.

Donoso, G. (2015). "Water pricing in Chile: decentralisation and market reforms"

Echeverría, M. (2018). El derecho humano al agua: análisis histórico, contenido y alcance en la legislación chilena, 63p.

Elliott, M., MacDonald, M. C., Chan, T., Kearton, A., Shields, K. F., Bartram, J. K., & Hadwen, W. L. (2017). Multiple Household Water Sources and Their Use in Remote Communities with Evidence from Pacific Island Countries: MULTIPLE HOUSEHOLD WATER SOURCES IN PICS. *Water Resources Research*, 53(11), 9106-9117. <https://doi.org/10.1002/2017WR021047>

[ESRI-2003], Environment Systems Research Institute. Home page: <http://www.esri.com>. [ArcInfo-2003], Información de Arc Info. <http://www.esri.com/software/arcgis/arcinfo/index.html>.

Fohrer N, S Haverkamp, K Eckhardt, H Frede. (2001). Hydrologic response to land use changes on the catchment scale, 577p.

Fundación Chile. (2018). Radiografía del Agua, Brecha y Riesgo Hídrico en Chile, 10p.

Fuster, R. Escobar, C. Astorga, K. Silva, K. Aldunce, P. (2017). Estudio de Seguridad Hídrica en Chile en un contexto de Cambio Climático para elaboración

del Plan de Adaptación de los recursos hídricos al Cambio Climático. (5, 66, 67, 68, 69,70) p.

Frêne, C., Ojeda, G., Santibáñez, J., Donoso, C., Sanzana, J., Molina, C., ... & Núñez-Ávila, M. (2014). Agua en Chile: diagnósticos territoriales y propuestas para enfrentar la crisis hídrica. Santiago: Iniciativa Agua que has de Beber.

Hartge, K. Horn, R. (1999). Einführung in die Bodenphysik. Enke, Stuttgart, 304p.

Hernández, S. (2014). Metodología de la investigación. Sexta edición. Extraído de: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Hurlbert, M. A., & Gupta, J. (2019). An institutional analysis method for identifying policy instruments facilitating the adaptive governance of drought. *Environmental Science & Policy*, 93, 221-231. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.09.017>

Jaramillo, A. (2014). Modelación del servicio ecosistémico de provisión y regulación hídrica bajo diferentes escenarios de uso de suelo: caso de estudio en el sur de Chile, 19p.

Kelly, E. (2018). Seasonality, water use and community management of water systems in rural settings: Qualitative evidence from Ghana, Kenya, and Zambia. *Science of the Total Environment*, 7.

Klug, T., Shields, K. F., Cronk, R., Kelly, E., Behnke, N., Lee, K., & Bartram, J. (2017). Water system hardware and management rehabilitation: Qualitative evidence from Ghana, Kenya, and Zambia. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 220(3), 531-538. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.02.009>

Liu, Y., & Chen, J. (2021). Future global socioeconomic risk to droughts based on estimates of hazard, exposure, and vulnerability in a changing climate. *Science of The Total Environment*, 751, 142159. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142159>

Mark, A. & Dickinson, K. (2018). Maximizing water yield with indigenous non-forest vegetation: A New Zealand perspective. Vol.6, N°1 (25-34) p.

Ministerio de Obras Públicas (MOP); Dirección General de Aguas. (2017). Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile. Volumen II, (42, 84, 181, 333, 516, 615, 616) p.

Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2020). Mesa Nacional del Agua, Primer Informe

Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2012). Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025.

Ministerio de Obras Públicas (MOP), Dirección de Obras Hidráulicas (DOH). (2015). Resumen ejecutivo evaluación programas gubernamentales (EPG) Programa infraestructura hidráulica de agua potable rural (APR).

Montiel, D. (1992). Chiloé 500 años, (23-26) p.

Muñoz, A.A.; Klock-Barría, K.; Alvarez-Garreton, C.; Aguilera-Betti, I.; González-Reyes, Á.; Lastra, J.A.; Chávez, R.O.; Barría, P.; Christie, D.; Rojas-Badilla, M.; Le Quesne, C. (2020). Water Crisis in Petorca Basin, Chile: The Combined Effects of a Mega-Drought and Water Management. 11p.

Ocampo-Melgar, A., S. Vicuña, J. Gironás, R. G. Varady y C. A. Scott. (2016). «Scientists, Policymakers, and Stakeholders Plan for Climate Change: A Promising Approach in Chile's Maipo Basin». Environment: Science and Policy for Sustainable Development 58(5): 24-37. doi: 10.1080/00139157.2016.1209004

OCDE. (2016). Evaluación de desempeño ambiental en Chile.

OECD. (2012). OECD Environmental Outlook to 2050, OECD Publishing; <http://dx.doi.org/10.1787/9789264122246-en>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2007)

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). (2011). Plan de manejo sustentable y modelo de fiscalización para humedales con predominio del musgo pompón en las Provincias de Llanquihue y Chiloé.

Pahl-Wostl, C., Giupponi, C., Richards, K., Binder, C., de Sherbinin, A., Sprinz, D., Toonen, T., & van Bers, C. (2013). Transition towards a new global change science: Requirements for methodologies, methods, data and knowledge. *Environmental Science & Policy*, 28, 36-47. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2012.11.009>

Plan de Desarrollo Comunal de Quemchi (PLADECO), 2015-2019.

R Core Team. (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Reyes-Mendy, F. (2014). Policy statement coherence: A methodological proposal to assess environmental public policies applied to water in Chile. *Environmental Science*, 12.

Richetti, F. (2018). Incorporación del efecto de la no estacionalidad en el análisis de series hidrometeorológicas de precipitación diaria y temperatura media diaria. caso de estudio: valores extremos y mensuales en Chile central. 7p

Rojo, I. A., Castro, B., & Perevochtchikova, M. (2018). Análisis de disfuncionalidad institucional de programas de política pública ambiental en la Ciudad de México, 2000-2012. *Gestión y política pública*, 27(1), 211-236.

Sahin, V. & Hall, M. (1996). The effects of afforestation and deforestation on water yields. *Journal of Hydrology*, Vol. 178, Nº 1-4, (293-309) p.

Sánchez, F. (2001). Análisis y evaluación comparativa de modelos precipitación-escorrentía (Budyko, Coutagne, Grunsky, Peñuelas, Pizarro, Turc y Turc-Pike). Memoria Ingeniero Forestal, Universidad de Talca, Chile. 75 p. y anexos.

Stehr A., C. Álvarez, P. Álvarez, J. L. Arumí, C. Baeza, R. Barra, C. A. Berroeta, Y. Castillo, G. Chiang, D. Cotoras, S. A. Crespo, V. Delgado, G. Donoso, A. Dussailant, F. Ferrando, R. Figueroa, C. Frêne, R. Fuster, A. Godoy, T. Gómez, E. Holzapfel,

C. Huneeus, M. Jara, C. Little, K. Lizama, M. Musalem, M. Olivares, O. Parra, R. D. Ponce, D. Rivera, I. Rodríguez, A. Sepúlveda, M. Somos, F. Ugalde, R. Urrutia, M. Valenzuela, C. Vargas, X. Vargas, S. Vásquez, I. L. Vera, S. Vicuña, G. Vidal y M. Yévenes (2019). Recursos hídricos en Chile: Impactos y adaptación al cambio climático. Informe de la mesa Agua. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.

Thorsten Pohlert (2020). trend: Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection. R package version 1.1.4. <https://CRAN.R-project.org/package=trend>

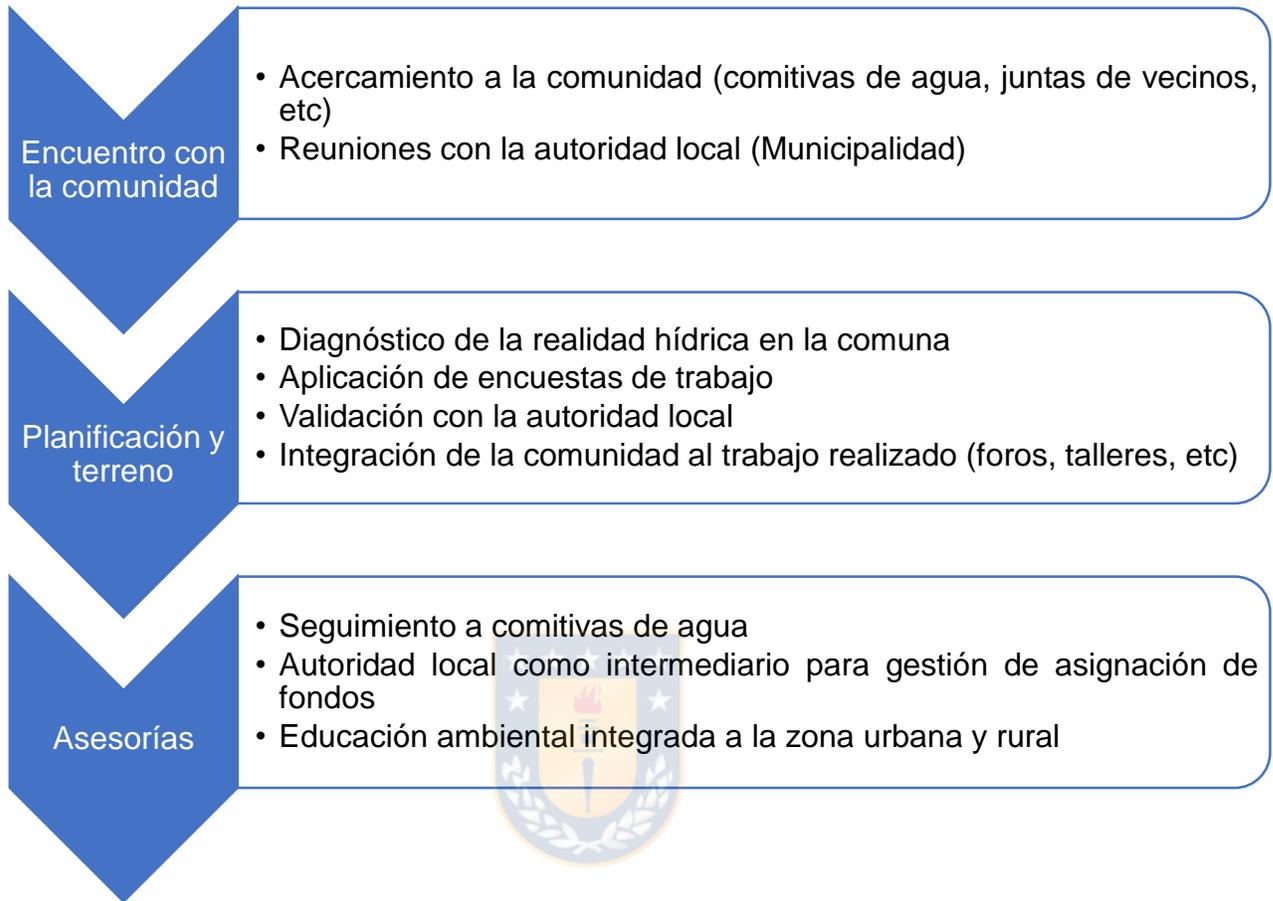
United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2019). *Informe mundial de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2018*. UN. <https://doi.org/10.18356/c18ed0db-es>

United Nations Environment Programme. (2009). METODOLOGIES GUIDELINES, Vulnerability Assessment of Fresh Resources to Environmental Change, 11p

Universidad Austral de Chile. (2020). Chiloé está perdiendo sus más importantes reservorios de agua dulce, diario UACH.

WHO, UNICEF. (2017). Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene – 2017 Update and SDG Baselines. World Health Organization (WHO) and the United Nations Children’s Fund (UNICEF), Geneva (Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. 116pp).

10. ANEXOS



Anexo 1. Esquema metodológico para el trabajo e implementación de medidas de gestión en comunidades aisladas.

Fuente del recurso hídrico

¿Qué fuentes de agua utiliza su familia? (Puede marcar más de una)

- 1) Red pública
- 2) Pozos
- 3) Ríos- lagos
- 4) APR
- 5) Turberas - humedal
- 6) Camiones aljibe
- 7) Otro

De ser el caso, ¿Comparte usted su fuente de agua con otro grupo familiar?

- SI
 NO

Cuantos: ____



Calidad del recurso hídrico

a) La fuente de aprovisionamiento de su familia, ¿presenta algún tipo de tratamiento pre-consumo? (ejemplo la cloración y/o filtrado)

- SI
 NO

Que tipo, especifique _____

b) Durante el año, ¿Ha presentado problemas de calidad relacionados al agua? (grado de turbidez, aromas raros, temperatura, etc.) ¿Cuál es la frecuencia de estos incidentes?

- | | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> SI | <input type="checkbox"/> NUNCA | <input type="checkbox"/> FRECUENTE |
| <input type="checkbox"/> NO | <input type="checkbox"/> POCAS VECES | <input type="checkbox"/> SIEMPRE |

c) De presentar estos problemas ¿Ha tenido problemas de salud en su grupo familiar a causa de la calidad de agua?

SI

NO

Especificar:

Disponibilidad del recurso hídrico

a) ¿Es la extracción/obtención de agua continua para su hogar durante el año?

SI

NO

Especificar en qué época (meses):



b) Durante el año ¿Ha presentado bajas en la cantidad de agua disponible, (disminución en niveles de pozos, problemas en arranques de agua, falla en sistemas de APR, etc.)? ¿Posee usted la facultad de medir el déficit de agua en su hogar?

SI

SÍ, SE CUANTO

VARÍA EL AGUA EN MI CASA

NO

VOLUMEN DE CAMBIO

NO, NO LO SÉ

c) Enfrentándose a la falta del recurso, ¿Cuánto tiempo persiste la baja disponibilidad de agua en el hogar?

____ HORAS

SEMANAS

____ DÍAS

MESES

Anexo 2. Encuesta de sostenibilidad hídrica para sectores rurales en la comuna de Quemchi

